

*„Steigerung der Ressourcenproduktivität
als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“*

Projekt im Auftrag des BMBF



**Entwicklung einer Hot Spot-Analyse
zur Identifizierung der Ressourcen-
intensitäten in Produktketten und ihre
exemplarische Anwendung**

Projekt **Ergebnisse**

Wuppertal, Dezember 2006

Bearbeitet von:

Prof. Dr.-Ing. Holger Wallbaum
Dipl.-Kff. Nicole Kummer
(triple innova GmbH)



Projektlaufzeit: 07/2005 – 03/2007

Projektleitung:

Prof. Dr. Raimund Bleischwitz / Dr. Kora Kristof / Dr. Christa Liedtke
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH
Forschungsgruppe Stoffströme und Ressourcenmanagement
Forschungsgruppe Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren

42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: 0202-2492 -256 /-183, Fax: 0202-2492 -250

E-Mail: raimund.bleischwitz@wupperinst.org
kora.kristof@wupperinst.org

Weitere Informationen zum Projekt „Steigerung der Ressourcenproduktivität
als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“
finden Sie unter **www.ressourcenproduktivitaet.de**



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 Ressourcenproduktivitätsprojekt – der Hintergrund | 7 |
| 2 Relevanz der Thematik und Problemstellung | 8 |
| 2.1 Ressourcenproduktivität in Produktion und Konsum auf globalen Märkten | 8 |
| 2.2 Ressourceneffizienz auf der Mikro- und Makroebene | 10 |
| 2.3 Potenziale ausschöpfen - systemweite Ansätze auf der Mikroebene | 11 |
| 2.4 Methodik der Hot Spot-Analyse von Wertschöpfungsketten | 13 |
| 2.5 Ressourcenintensität innerhalb einer Lebenszyklusphase | 14 |
| 2.6 Gewichtung der Lebenszyklusphasen untereinander | 16 |
| 2.7 Identifizierung der Hot Spots | 16 |
| 3 Grundlegende Aspekte bei der Auswahl der Produktketten | 18 |
| 3.1 Auswahl der Produktketten | 18 |
| 3.1.1 Relevanz des Bedarfsfeldes Bauen und Wohnen | 19 |
| 3.1.2 Relevanz des gewählten Produkts im Bedarfsfeld Bauen und Wohnen | 20 |
| 3.1.3 Relevanz des Bedarfsfeldes Ernährung | 21 |
| 3.1.4 Relevanz gewählter Produkte im Bedarfsfeld Ernährung | 22 |
| 3.1.5 Relevanz des Bedarfsfeldes Kommunikation und Informationsverarbeitung | 23 |
| 3.1.6 Relevanz des ausgewählten Produkts im Bedarfsfeld Kommunikation und Informationsverarbeitung | 24 |
| 4 Hot Spot-Analyse auf Mikro- bzw. Meso-Ebene | 26 |
| 4.1 Bedarfsfeld Wohnen – Beispiel Wohngebäude | 26 |
| 4.1.1 Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen | 26 |

| | |
|---|----|
| 4.1.2 Rohstoff | 27 |
| 4.1.3 Verarbeitung | 28 |
| 4.1.4 Nutzung | 31 |
| 4.1.5 Entsorgung | 34 |
| 4.1.6 Zusammenfassende Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen | 35 |
| 4.1.7 Lebenszyklusweite Betrachtung | 36 |
| 4.1.8 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Bausektor | 37 |
| 4.2 Bedarfsfeld Ernährung – Beispiel Frischkäse | 40 |
| 4.2.1 Lebenszyklus Frischkäse | 40 |
| 4.2.1.1 Rohstoff | 41 |
| 4.2.1.2 Verarbeitung | 41 |
| 4.2.1.3 Nutzung | 43 |
| 4.2.1.4 Entsorgung | 43 |
| 4.2.2 Zusammenfassende Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen | 44 |
| 4.2.3 Lebenszyklusweite Betrachtung | 44 |
| 4.3 Bedarfsfeld Ernährung – Beispiel Kaffee | 45 |
| 4.3.1 Relevanz des Produkts | 45 |
| 4.3.2 Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen | 45 |
| 4.3.2.1 Rohstoff | 46 |
| 4.3.2.2 Verarbeitung | 47 |
| 4.3.2.3 Nutzung | 47 |
| 4.3.2.4 Entsorgung | 48 |
| 4.3.3 Zusammenfassende Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen | 48 |
| 4.3.4 Lebenszyklusweite Betrachtung | 48 |
| 4.4 Weitere Lebensmittelprodukte und Übertragbarkeit auf andere Produkte im Lebensmittelsektor | 49 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.5 | Bedarfsfeld Kommunikation und Informationsverarbeitung – Beispiel PC | 50 |
| 4.5.1 | Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen | 50 |
| 4.5.1.1 | Rohstoff | 50 |
| 4.5.1.2 | Verarbeitung | 51 |
| 4.5.1.3 | Nutzung | 51 |
| 4.5.1.4 | Entsorgung | 52 |
| 4.5.2 | Zusammenfassende Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen | 53 |
| 4.5.3 | Lebenszyklusweite Betrachtung | 53 |
| 4.5.4 | Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Produkte im Bedarfsfeld | 55 |
| 4.5.5 | Ressourceneffizienz-Potenzialabschätzung von IK-Technologien | 56 |
| 5 | Schlussfolgerungen | 58 |
| 5.1 | Forschungsbedarf in den ausgewählten Produktketten | 60 |
| 5.1.1 | Bauen | 60 |
| 5.1.2 | Ernährung | 60 |
| 5.1.3 | IKT | 61 |
| 5.2 | Zusammenfassender Forschungsbedarf über alle Produktketten hinweg | 62 |
| 5.3 | Gesamtfazit | 63 |
| 6 | Literatur | 64 |
| 7 | Anhang | 71 |
| 7.1 | Zur Klärung der verwendeten Begrifflichkeiten | 71 |
| 7.2 | Planungsgrundsätze für nachhaltiges Bauen | 73 |

Abbildungen

| | | |
|----------|--|----|
| Abb. 1: | Zuordnung von Bewertungspunkten aufgrund der Höhe des Verbrauchs von Ressourcen und Energie bezogen auf die einzelne Lebenszyklusphase _____ | 15 |
| Abb. 2: | Bestimmung von Lebenszyklusgewichtungsfaktoren durch die Betrachtung der relativen Relevanz der Phasen zueinander _____ | 16 |
| Abb. 3: | Identifizierung der Hot Spots in Wertschöpfungsketten _____ | 17 |
| Abb. 4: | Gerundete Materialintensitäts-Werte verschiedener Baustoffgruppen (unterschiedliche Quellen) _____ | 29 |
| Abb. 5: | Relative Gewichtung der direkten und indirekten Materialaufwendungen für den Rohbau (Wallbaum 2005) _____ | 30 |
| Abb. 6: | Die energiebezogene Effizienzsteigerung im Gebäudebereich (Wuppertal Institut 1996) _____ | 33 |
| Abb. 7: | Verwendung und Materialintensität verschiedener Heizenergieträger in Deutschland (nach BGW 2004; Wuppertal Institut 2005) _____ | 34 |
| Abb. 8: | Überschlägige Abschätzung der Einsparpotenziale zur Wohnraumbereitstellung und -instandhaltung (bezogen auf Massivbauten) _____ | 39 |
| Abb. 9: | Die Verteilung der Materialaufwendungen über die beteiligten Akteure in unterschiedlichen Geschäftsmodellen _____ | 52 |
| Abb. 10: | Planungsgrundsätze für nachhaltiges Bauen (BMVBW, 2001) _____ | 73 |

1 Ressourcenproduktivitätsprojekt – der Hintergrund

Natürliche Ressourcen sind Grundlage aller wirtschaftlichen Aktivitäten. Wohlfahrtssteigerungen können durch eine optimale und effiziente Nutzung der Ressourcen erzielt werden. Das Management der natürlichen Ressourcen ist aber gerade in den letzten Jahren zur Herausforderung geworden. Das anhaltende Wachstum der Weltbevölkerung, die Steigerung der weltweiten Produktion und Preissteigerungen auf den Energie- und Rohstoffmärkten erhöhen den langfristigen Anpassungsdruck zu Effizienzsteigerungen beim Einsatz natürlicher Ressourcen.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt „Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer Nachhaltigen Entwicklung“ will Möglichkeiten aufzeigen, wie die Rahmenbedingungen wirtschaftlichen Handelns mit betrieblichen und sektoralen Strategien so gestaltet werden können, dass es zu einer tiefgreifenden Erhöhung der Ressourcenproduktivität kommt (www.ressourcenproduktivitaet.de). Die zentralen Projektziele sind:

- **Weiterentwicklung von Informationssystemen** (Arbeitspaket 1) mit dem Ziel einer Aktivierung von Lernprozessen auf betrieblicher, zwischenbetrieblicher und wirtschaftspolitischer Handlungsebene,
- **Hot Spots** (Arbeitspaket 2): Identifizierung von Problembereichen der Ressourcennutzung und von Potenzialen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz¹ jenseits vorhandener Trends,
- **Ressourcenpolitik und Ressourcenproduktivitätssteigerungen durch unternehmensübergreifende Instrumente** (Arbeitspaket 3): Entwicklung von Anreizstrukturen und -instrumenten zur Steigerung der Ressourcenproduktivität im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung,
- **Hochrechnung von Verbesserungspotenzialen zur Ressourcenproduktivitätssteigerung** (Arbeitspaket 4): Abschätzung theoretischer sektoraler Verbesserungspotenziale der Ressourcenproduktivität durch die Be- und Hochrechnung der direkten und indirekten Auswirkungen einer Vorleistungseinsatzsenkung, einer veränderten Endnachfragestruktur und ausgewählter Technologien.

¹ Ressourcenproduktivität wird in diesem Projekt verstanden als die erzielte Wertschöpfung pro Einheit dafür erforderlicher Ressourcen auf der gesamtwirtschaftlichen oder sektoralen Ebene. Ressourceneffizienz wird verstanden als Verhältnis zwischen technisch-physikalischem oder betrieblichem Output zu den dafür erforderlichen Ressourcen auf der Technologie-, Produkt-, Unternehmens- oder Wertschöpfungskettenebene.

2 Relevanz der Thematik und Problemstellung

2.1 Ressourcenproduktivität in Produktion und Konsum auf globalen Märkten

In zunehmend global ausgelegten Wertschöpfungsketten (zur Definition der Begrifflichkeiten vgl. Anhang 7.1) und angesichts der steigenden Verlagerung von Produktionsstandorten und Dienstleistungen ins Ausland wird die ganzheitliche Betrachtung und Analyse der Zusammenhänge immer anspruchsvoller (Wuppertal Institut 2004, S. 98). Die steigende Anzahl beteiligter Akteure und die zunehmende Verzweigung des Managements erschweren das Monitoring und die Optimierung von einzelnen Produktionsprozessen und folglich erst recht der gesamten Wertschöpfungskette. Die damit einhergehenden Herausforderungen gelten gleichsam auch, wenn nicht sogar im größeren Umfang, für den Ressourcenverbrauch und die daraus resultierenden Umweltbelastungen, da sie bislang nicht im Fokus unternehmerischen Handelns stehen. Dabei wird auch die unternehmerische Relevanz des Themenfeldes zunehmend erkannt, wie einzelne Unternehmensbeispiele (Liedtke, Busch 2005; Seiler-Hausmann, Liedtke Weizsäcker 2004), Unternehmensnetzwerke (s. beispielsweise Modell Hohenlohe (Wuppertal Institut 2006, S. 6) oder auch die Einrichtung einer Deutschen Materialeffizienzagentur zeigen. Neue Herausforderungen sind hier das Komplexitätsmanagement sowie die Möglichkeit einer Problemverlagerung, wenn Umwelt belastende Produktionsprozesse in Entwicklungs- oder Schwellenländer verlagert werden.

Unverknüpfte Einzelbetrachtungen von Produktionsprozessen, einzelnen Grundstoffen oder Sektoren würden im Hinblick auf ein ganzheitliches Ressourcen- und Produktmanagement für eine nachhaltige Entwicklung zu kurz greifen, wie im Folgenden stichpunktartig dargestellt:

- 1) Einzeloptimierungen \neq Gesamtoptimierung: Eine lokale Optimierung der Ressourceneffizienz eines Produktionsschrittes (oder einer Phase innerhalb des Produktlebenszyklus) bedeutet nicht zwangsläufig eine Ressourceneffizienz-Optimierung des Gesamtproduktes. So wird beispielsweise die Reduzierung des Heizwärmebedarfs eines Gebäudes oft durch einen deutlich höheren Ressourceneinsatz bei der Erstellung der Dämmmaterialien und der technischen Gebäudeausrüstung erkauft. Insb. wenn die erzielte Energieeinsparung gering bzw. die Arbeiten unfachmännisch ausgeführt wurden und sich so die Lebensdauer der Maßnahme reduziert, ist eine Gesamtoptimierung des Systems verfehlt worden.
- 2) Ressourcenintensive Grundstoffe und Produktlebensdauer: Der Einsatz eines ressourcenintensiv produzierten (Vor-)Produktes mit spezifischen Eigenschaften kann in bestimmten Situationen der Gesamteffizienz eines Services zuträglich sein, z.B. wenn seine Lebensdauer hoch ist. So ist z.B. eine lebenszyklusweite ressourcenoptimierte Nutzung des energieintensiven Dämmstoffes Aero-

gel nach den Ergebnissen einer Studie des Wuppertal Instituts aus dem Jahr 1996 „im Vergleich zu herkömmlichen Dämmstoffen insbesondere im Bereich kleiner Dämmschichtdicken“ sinnvoll (Schmidt-Bleek, F. 2000, S. 166).

- 3) Ressourcenintensive Sektoren: Über die Auswertung statistischen Datenmaterials können die ressourcenintensivsten Sektoren identifiziert werden. Diese Information gibt dabei jedoch nicht unmittelbar Auskunft über die Ressourceneffizienz bzw. das Ressourceneffizienzpotenzial des Sektors. Große Stoffströme bedeuten nicht zwangsläufig große Optimierungspotenziale. So gilt z.B. der Stahlsektor i.d.R. als traditionell ressourcenintensive Branche, die sich jedoch „erheblich modernisiert (hat), um sich an die wandelnden Wettbewerbsbedingungen anzupassen“ (Europäische Kommission 2002). In den vergangenen Jahrzehnten wurden auch aus Stoffstromsicht erhebliche Effizienzgewinne erzielt.² Über 1,1 Mrd. t Rohstahl werden jährlich weltweit erzeugt. Mit einer Jahreserzeugung von ca. 44,7 Mio. t Rohstahl steht Deutschland als größter Stahlerzeuger in der EU in der Weltrangliste der Stahlerzeuger an sechster Stelle (Wirtschaftsvereinigung Stahl; Stahlinstitut VDEh 2005). Dies deutet darauf hin, dass trotz der Effizienzgewinne der Stahlsektor in Deutschland im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch von großer Bedeutung ist und perspektivisch bleiben wird. Wie jedoch der Einsatz des Stahls bzw. des mit ihm erbrachten Services noch ressourceneffizienter gestaltet werden kann, muss im Anschluss an die Identifizierung der Relevanz, z.B. durch Verwendung eines volkswirtschaftlichen Screenings, auf der Produkt(ketten)- oder Dienstleistungsebene, genauer analysiert werden (siehe nachfolgender Punkt). Einen möglichen Ansatzpunkt zeigen innovative Formgebungs- und Fügeverfahren im automobilen Stahlleichtbau (Ritthoff et al., 2004).
- 4) Berücksichtigung der Nutzenphase: Eine ausschließliche Fokussierung auf Sektoren oder die Produktionsphase führt zu einer Vernachlässigung von zusätzlichen Ressourceneffizienzpotenzialen (z.B. durch Ökodesign, Verlängerung der Nutzungsphase, verändertes Nutzerverhalten etc.). Wie das Beispiel zu den Ressourceneffizienzpotenzialen bei IKT Geräten zeigt (siehe Kap. 4.5.5), werden insbesondere bei Gebrauchsgütern hier beträchtliche Potenziale erzielt.
- 5) Ressourcenverlagerung in der Entsorgungsphase: Relevant ist auch die Einbeziehung der Entsorgungsphase in eine ganzheitliche Betrachtung, die häufig nicht sehr ressourcenintensiv hinsichtlich „neuer“ Ressourcen sein kann, sondern auch zu geographischen Ressourcenverlagerungen und damit einhergehenden Problemen führen kann. Die aktuellen Diskussionen zur Basler Konvention verdeutlichen diesen Punkt, wenn z.B. eine Billigverwertung in einem Entwicklungsland stattfindet (Schiffsverwertung mit Rohstoffrecycling in Indien). Ein Rohstoffrecycling vor Ort würde sicherlich eine höhere Ressourceneffizienz bei

² Vgl. z.B. Wirtschaftsvereinigung Stahl; Stahlinstitut VDEh (Hg.) 2005.

gleicher, wenn nicht gar höherer Qualität bedeuten, da der Ressourcenaufwand für den Transport entfiel.

Während jeder der aufgeführten Blickwinkel für sich genommen rasch an seine Grenzen stößt bzw. Gefahr läuft nur Teiloptimierungen zu bewirken, werden insgesamt durch jeden Einzelschritt neue Ansatzpunkte zur Bewertung und Steuerung der Ressourcenintensität entlang von Wertschöpfungsketten bzw. im Hinblick auf Volkswirtschaften beige-steuert. Eine integrierte Betrachtung fehlt jedoch bisher zumeist.

Im Rahmen der Debatten um die Integrierte Produktpolitik (IPP)³, die EU-Ressourcenstrategie und die EU-Abfallstrategie wird vermehrt auch von der Industrie eine Bewertung ganzer Wertschöpfungsketten „von der Rohstoffgewinnung über die Nutzung bis hin zur Entsorgung“ (Mersiowski 2002, S.113) gefordert.⁴ Zur Bewertung von Rohstoff- und Materialflüssen reicht eine alleinige Betrachtung der Unternehmensaktivitäten in Deutschland nicht aus. Vermehrt wird der Einbezug aller Akteure und ihrer „Impacts“ (Einflussnahme) entlang der gesamten Wertschöpfungskette (insbesondere die Lieferanten- und die Konsumentenseite) gefordert (CEC 2003).

2.2 Ressourceneffizienz auf der Mikro- und Makroebene

Um den Link zwischen unternehmerischen Erfolgen auf Mikroebene, Branchenerfolgen auf Mesoebene und Effizienzfortschritten auf der Ebene von Volkswirtschaften oder Wirtschaftsräumen (Makroebene) besser darstellen zu können, hat der Rat der Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) einerseits alle Mitglieds-länder aufgefordert, Maßnahmen zur Verbesserung der Information über Material- und Ressourcenflüsse zu ergreifen und rät darüber hinaus zur Entwicklung von Werkzeugen zur Messung der Ressourcenproduktivität und der Materialströme auf der Ebene der Volkswirtschaften.

Andererseits schlägt der OECD-Rat vor, ökologische und ökonomische Daten durch die Analyse von Materialströmen, Ressourcenquellen und -flüssen und ökologischem Aufwand miteinander zu verbinden und auf diese Weise makroökonomische Auswirkungen der Umweltpolitik darzustellen. Das eingesetzte Indikatorenset soll dabei Ressourcenproduktivität auf Makro-, Meso- und Mikroebene vergleichbar abbilden können (OECD 2001 sowie folgende OECD-Deklarationen).

Ziel dieser Gesamtbetrachtungen ist es über stetige Steigerungen der Ökoeffizienz zu einer graduellen und absoluten Dematerialisierung, d.h. einer Entkopplung von ökonomischem Wachstum und Ressourcenverbrauch, zu gelangen.

³ So fordert die Europäische Kommission in einem Strategiepapier zur integrierten Produktpolitik (IPP): „Die Produktpolitik muss viele unterschiedliche Akteure berücksichtigen können. Auch muss sie der Tatsache Rechnung tragen, dass ein Produkt an weit voneinander entfernten Orten mit unterschiedlichen gesellschaftlichen Wertesystemen zusammengebaut, vermarktet oder benutzt werden kann. Daher sollte die Produktpolitik zur Verbesserung der Informationsflüsse entlang der Wertschöpfungskette beitragen“ (Europäische Kommission 2003).

⁴ Vgl. Europäische Kommission 2003, DNR 2005, Europäische Kommission 2001.

Die bislang veröffentlichten Studien zu Ressourcenproduktivitätspotenzialen lassen sich im Wesentlichen in die Beschreibung eines „Top-down-Ansatzes“ (von der Makro- zur Mikro-Ebene) oder eines „Bottom-up-Ansatzes“ (von der Mikro- zur Makroebene) unterscheiden (ipts; ESTO 2005).

Im Fall des „Top-down-Ansatzes“ werden, basierend auf statistischen Angaben, um Umweltaspekte erweiterte Input-Output-Analysen verwendet, um die ökologischen Auswirkungen zu bestimmen, die mit dem Einkauf einer bestimmten Menge eines Produktes oder einer Dienstleistung verknüpft sind. Die hierdurch gewonnenen Übersichten beziehen sich dabei auf ganze Volkswirtschaften. Beim „Bottom-Up-Ansatz“ werden in detaillierteren Arbeitsschritten marktorientierte Lebenszyklusanalysen auf Grundlage statistischer Daten extrapoliert.

Beide Ansätze besitzen Vor- und Nachteile. Während im Fall der Bottom-up-Analyse durch die Extrapolation bestehende Unsicherheiten in der Analyse potenziert werden, fehlt der statistischen Top-down-Analyse in der Regel die nötige Detailtiefe, um spezifische Ressourceneffizienzpotenziale sicher auszuweisen. Die Schwächen der jeweiligen Einzelstudien sind in beiden Ansätzen erkennbar. Durch die Kombination beider Vorgehensweisen können Ressourceneffizienzpotenziale auf Grundlage des bestehenden Wissens deshalb mit der nötigen Detailtiefe (nötigenfalls bis zum einzelnen Produktionsprozess) ausgewiesen werden. Auf diese Weise lassen sich realistische Effizienzziele für Produkt-/Dienstleistungssysteme oder Sektoren bestimmen. Während andere Teilstudien im Projekt den Top-Down-Ansatz anwenden, entwickelt die vorliegende Teilstudie eine an Wertschöpfungsketten orientierte Hot Spot-Analyse, die eine erweiterte Bottom-up-Methode zur Anwendung bringt. Die Erweiterung besteht in der Integration einer technischen Potenzialermittlung in einer Wertschöpfungskette, wo ökonomische Austauschbeziehungen herrschen. Insofern geht die Studie über technische Bottom-Up-Ansätze hinaus und betrachtet die ausgewählten Wertschöpfungsketten jeweils empirisch mit den Methoden der angewandten Umweltforschung. Im Verlauf des Gesamtprojekts soll dadurch die Kombination beider Ansätze sichergestellt werden. Noch nicht ausreichend berücksichtigt werden konnten die rechtlich-ökonomischen Aspekte von Wertschöpfungsketten.

2.3 Potenziale ausschöpfen - systemweite Ansätze auf der Mikroebene

Den Blick auf der Mikroebene über die Betriebsgrenzen hinweg auszudehnen muss nicht zwangsläufig mit einer produktkettenweiten Optimierung von Stoffströmen unter Ökoeffizienz Gesichtspunkten verbunden sein. Über die intensive Betrachtung von vor- und nachgelagerten Ketten werden sich Unternehmen zunehmend Ihres Einflusses innerhalb der Wertschöpfungskette und mitunter im Vorhinein unbemerkter „Angriffspunkte“ bewusst. Dies gibt Unternehmen die Möglichkeit z.B. im Rahmen von Unternehmenskooperationen entlang der Kette aktiv zu werden und ihr Engagement im Bezug auf die gesamte Wertschöpfungskette transparent darzustellen. Wie der gegenwärtige Trend in der Nachhaltigkeitsberichterstattung zeigt, nutzen eine zunehmende Zahl von Unternehmen diese Möglichkeit auch für ihre Außenkommunikation und

kommunizieren ihr kettenübergreifendes Engagement in ihren Nachhaltigkeitsberichten.⁵

Produktkettenweite Ressourcenoptimierungen sind jedoch im Vergleich zur rein betrieblichen Stoffstromoptimierung in der betrieblichen Praxis noch weit weniger häufig anzutreffen. Die stetig wachsende Zahl veröffentlichter oder in den Umwelt- und Nachhaltigkeitsberichten deutscher Unternehmer erwähnter Ökobilanzstudien, deutet jedoch auch in dieser Hinsicht auf erste Erneuerungen hin.

Gleichzeitig sind auf politischer Ebene Bemühungen zu beobachten systemweite Ansätze zu fördern. In diesem Zusammenhang sind z.B. zu nennen:

International:

- UNEP/Setac- Initiative zum Life Cycle Management
- Integrierte Produktpolitik, Ressourcenstrategie und Abfallstrategie der EU

National:

- Nationale Nachhaltigkeitsstrategie
- Materialeffizienzprogramm der Bundesregierung
- Projekte zur Verbreitung von Lebenszyklusdaten wie das „Netzwerk Lebenszyklusdaten“, die Bereitstellung von Materialintensitätsdaten durch das Wuppertal Institut, das Projekt ProBas des Umweltbundesamts oder Gemis (Öko-Institut)
- Projekte zur Marktdurchdringung und KMU-Förderung wie z.B. die Verbreitung von um den Lebenszyklusansatz erweiterten Umweltkostenrechnungssystemen wie das Projekt „care“ – Computergestützte Ressourceneffizienzrechnung in der mittelständischen Wirtschaft (Wuppertal Institut)
- Bildungsprojekte zur Verbreitung von systemweisem Denken / Denken in Lebenszyklen sowie zum nachhaltigen Wirtschaften (u.a. Projekt KURS 21 mit Lernpartnerschaften, FANWI zur betrieblichen Weiterbildung etc.)

Um eine breite Berücksichtigung von lebenszyklusweiten Ressourceneffizienzaspekten im Bezug auf Prozessplanungen und andere unternehmerische Entscheidungen⁶ zu erwirken (Ansätze hierfür bieten z.B. LCA, MIPS⁷, Life-cycle-Costing), sind auf politischer Ebene eine Schaffung von Anreizstrukturen für eine lebenszyklusweite Ressourceneffizienz sowie konkrete Effizienzziele erforderlich.

⁵ z.B. Hochtief 2005. Vgl. zu Nachhaltigkeitsberichterstattung und Best-Practice-Beispielen außerdem: www.gri.org z.B. Guidelines der Global Reporting Initiative (GRI) sowie diverse Fallbeispiele (z.B. Faktor-X-Datenbank in: <http://www.faktor-x.info/cms.php?id=104>; Faktor 4 Datenbank In: Faktor 4-Datenbank <http://www.wupperinst.org/FaktorVier/index.html>.

⁶ Für eine umfassende und dauerhafte Optimierung von Stoff- und Energieflüssen im Bezug auf die gesamte Kette ist ein übergreifendes Management erforderlich. In diesem Zusammenhang sind die Begriffe Wertschöpfungskettenmanagement, Supply Chain Management und Lieferkettenmanagement, die hier synonym verwendet werden können (Vgl. z.B. Seuring 2001), zu erwähnen (Zur Erläuterung der Begriffe siehe Anhang).

⁷ Vgl. Ritthoff et al. 2002 sowie Schmidt-Bleek et al. 1998.

Die folgende „Hot Spot-Analyse“ am Beispiel ausgewählter Produktketten greift diese Anforderungen auf und stellt die Relevanz verschiedener Phasen entlang der Wertschöpfungskette im Hinblick auf die Ressourcenproduktivität anhand eines Bewertungsrasters dar, welches eine gute Anknüpfung an die auf der Makroebene genannten Ziele bietet. Neben der Messung der direkten Materialinputs, werden auch die bereits erwähnten Durchflusströme (ökologischer Rucksack) bei der Analyse mitberücksichtigt. Die entwickelte Methodik stellt eine Metaanalyse vorhandener Studien und Erkenntnisse dar, die es erlaubt, die Ressourcenintensität verschiedener Phasen und Ressourcengruppen entlang von Wertschöpfungsketten abzuschätzen. Durch die Vorgabe eines fixierten Bewertungsrasters erlaubt dies eine relativ schnelle und richtungssichere Ausweisung der Ressourcenintensität. Sie grenzt sich damit von existierenden Ansätzen wie Ökobilanzen, der Berechnung des kumulierten Energieaufwands (KEA)⁸, der Materialintensitätsanalyse nach dem MIPS Konzept, aber auch betrieblichen Instrumenten zum Umweltmanagement (vgl. Schaltegger et al. 2002) ab.

2.4 Methodik der Hot Spot-Analyse von Wertschöpfungsketten

Ziel der Hot Sport-Analyse ist eine richtungssichere Abschätzung der relativen Verteilung der Ressourcenintensität von Produkten oder Dienstleistungen, untergliedert in unterschiedliche Ressourcenkategorien und Lebenszyklusphasen. Es werden die Lebenszyklusphasen Rohstoff(-gewinnung), Verarbeitung, Nutzung und Entsorgung unterschieden.⁹ Zur Identifizierung der „Hot Spots“ in diesen Phasen werden die Ressourcenkategorien abiotische Materialien, biotische Materialien, Wasser und Energie untersucht. Die im Ergebnis der Analyse ausgewiesenen Hot Spots zeigen die entlang des gesamten Lebenszyklus ressourcenintensivsten Phasen und Kategorien auf, und deuten damit auf erste Handlungsprioritäten im Bezug auf mögliche Effizienzpotenziale hin. Wenngleich ein „Hot Spot“ auf eine hohe Ressourcenintensität hinweist, so ist dies nicht mit einem hohen Effizienzpotenzial gleichzusetzen. Potenzialabschätzungen erfordern eine intensive Analyse verschiedenster Handlungsoptionen (z.B. technologische Optionen, Materialsubstitution, Übergang zu Produkt-Dienstleistungs-Systemen, Management- und Qualifizierungsmaßnahmen usw.), die im Rahmen dieser Methodik nicht geleistet wird. In einer entsprechenden Weiterentwicklung der Methodik wird weiterer Forschungsbedarf gesehen.

Die Hot Spot-Analyse ist in drei Schritte unterteilt, welche in den folgenden Unterkapiteln näher erläutert werden:

- 1) Abschätzung der Ressourcenintensität innerhalb einer Lebenszyklusphase
- 2) Gewichtung des Ressourcenverbrauchs zwischen den Lebenszyklusphasen
- 3) Identifizierung der Hot Spots durch eine integrierte Betrachtung der Analyseschritte 1 und 2

⁸ Vgl. Mauch 1993.

2.5 Ressourcenintensität innerhalb einer Lebenszyklusphase

Die Abschätzung der Ressourcenintensität innerhalb der einzelnen Lebenszyklusphasen erfolgt anhand des Verbrauchs an abiotischen (z.B. mineralische Rohstoffe, Bodenaushub/Erosion¹⁰) und biotischen Materialien (z.B. Ernteprodukte und Biomasse), Wasser und Energie. Produktion und Konsum von Produkten und Dienstleistungen sind neben dem Ressourcenverbrauch noch mit einer Vielzahl weiterer Umweltauswirkungen verbunden (bspw.: Flächen(um)nutzung, Auswirkungen auf die Biodiversität, Emissionen usw.). Dass diese Aspekte in der hier vorgenommenen Betrachtung nicht berücksichtigt wurden, sollte nicht als Bewertung ihrer fehlenden Umweltrelevanz gesehen werden.

Die Kategorie „Energie“ wurde im Rahmen dieser Analyse aus unterschiedlichen Gründen bewusst explizit berücksichtigt. Zum einen spielt sie in der öffentlichen Diskussion eine hervorgehobene Rolle und erleichtert damit unter Umständen die Anschlussfähigkeit und Kommunizierbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse. Zum anderen ist die Energiegewinnung, je nach eingesetztem Verfahren, mit signifikant unterschiedlichem Ressourcenverbrauch verbunden. So ist beispielsweise aus fossilen Energieträgern gewonnener Strom mit deutlich höherem Ressourcenverbrauch verbunden als Wind- oder Wasserkraft. Würde die Kategorie Energie nicht explizit aufgeführt, sondern der mit der Energiegewinnung und –umwandlung verbundene Ressourcenverbrauch den Kategorien abiotische und biotische Materialien bzw. Wasser zugeschlagen, könnte die Relevanz (s. u.) je nach eingesetztem Energieträger signifikant unterschiedlich ausfallen. Eine verallgemeinerbare Ableitung möglicher Handlungsoptionen wäre dadurch erschwert. Um dies an einem fiktiven Beispiel zu verdeutlichen: Die stromintensive Verarbeitung eines Produktes X ist mit einem mittleren Ressourcenverbrauch abiotischer Materialien und einem niedrigen Verbrauch biotischer Materialien verbunden. Würde die Bewertung der Kategorie Energie nicht explizit vorgenommen, sondern der mit der Stromgewinnung verbundene Materialverbrauch müsste den Kategorien abiotisch und biotisch zugeschlagen werden, so würde es einen signifikanten Unterschied machen, ob der Strom aus Wind- bzw. Wasserkraft, aus nachwachsenden Rohstoffen oder aus Braunkohle generiert wird. Im ersten Fall würde sich an der Bewertung nichts ändern, im zweiten würde die Relevanz der biotischen Materialien stark steigen und im dritten die der abiotischen.

Grundlage der Bewertung sind wissenschaftliche Publikationen, die Aussagen über die Ressourcenintensität über die gesamte oder Teile der betrachteten Wertschöpfungskette erlauben. Eine besondere Rolle spielen, sofern vorhanden, Ökobilanzen. Die re-

⁹ Im Fall der Wertschöpfungskette „Wohnhaus“ wird zusätzlich die Relevanz der Planungsphase berücksichtigt.

¹⁰ Bodenaushub (Massenbewegungen von Boden und anstehendem Gestein) und Erosion werden in anderen methodischen Ansätzen z.T. gesondert ausgewiesen. Während sie in der Produktion landwirtschaftlicher Rohstoffe eine wichtige Rolle spielen, ist deren Bedeutung für andere Rohstoffe relativ gering. Um den methodischen Ansatz möglichst einfach zu halten, werden sie daher nicht als gesonderte Kategorie ausgewiesen, sondern den abiotischen Materialien zugeordnet.

levanten Aussagen der zur Bewertung herangezogenen Publikationen werden für jede Lebenszyklusphase separat stichpunktartig angeführt.

Die Bewertung im Hinblick auf die Intensität des Ressourcenverbrauchs innerhalb der vorgenannten Ressourcenkategorien erfolgt anhand einer Punkteskala. Diese Bewertungsskala reicht dabei von „hoch“ (= 3 Relevanz-Punkte) über „mittel“ (= 2 Relevanz-Punkte) bis „niedrig“ (= 1 Relevanz-Punkt). Bei dieser Bewertung handelt es sich um eine relative Gewichtung der einzelnen Kategorien zueinander.

Im Hinblick auf die Systemgrenzen der Hot Spot-Analyse wird nur der direkt mit dem Produkt / der Dienstleistung sowie der zur Herstellung notwendigen Rohstoffe, Vor- und Zwischenprodukte inkl. Vorketten verbundene Ressourcenverbrauch berücksichtigt. Nicht mit einbezogen wurden die Vorketten der nicht unmittelbar mit dem Produkt verbundenen Materialien und Produkte (z.B. Verpackungsmaterialien), sowie der mit Herstellung und allgemeiner Wartung von Produktions- und Transportanlagen sowie Maschinen verbundene Verbrauch.

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch wie die Bewertung der Ressourcenintensität in den einzelnen Phasen aussehen kann:

Abb. 1: Zuordnung von Bewertungspunkten aufgrund der Höhe des Verbrauchs von Ressourcen und Energie bezogen auf die einzelne Lebenszyklusphase

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---|-----------------|---------------------|----------------|-------------------|
| Abiotische Materialien | 3 | 1 | 2 | 2 |
| Biotische Materialien | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Wasser | | 3 | 3 | 1 |
| Energie | 3 | 1 | 3 | 1 |

Wie aus Abb. 1 ersichtlich wird, ist die Rohstoffphase durch hohe Intensitäten im Bereich der abiotischen Materialien und der Energie geprägt, in der Verarbeitungsphase ist der Wasserverbrauch besonders relevant und die Konsumphase (Nutzung) zeichnet sich durch hohen Verbrauch in den Kategorien Wasser und Energie aus. Die Tatsache, dass der Energieverbrauch in der Rohstoff- und Nutzungsphase als hoch eingeschätzt wurde, deutet nicht darauf hin, dass deren absolute Werte vergleichbar sein müssen. Hierbei handelt es sich lediglich um eine **Abschätzung der relativen Gewichtung innerhalb der jeweiligen Lebenszyklusphase**. Zur Beantwortung der Frage, wie der hohe Verbrauch innerhalb der jeweiligen Phasen zueinander zu sehen ist, d.h. inwieweit beispielsweise mengenmäßig die hohe Relevanz der Kategorie Energie in der Rohstoffphase mit der Nutzungsphase zu vergleichen ist, ist der zweite Schritt der Methodik notwendig.

2.6 Gewichtung der Lebenszyklusphasen untereinander

Zur **Bewertung der relativen Bedeutung der einzelnen Lebenszyklusphasen untereinander** wird ausschließlich auf wissenschaftliche Analysen und Studien zurückgegriffen, welche den gesamten Lebenszyklus abbilden. Ziel ist die Bestimmung von Gewichtungsfaktoren, die die Relevanz einer einzelnen Lebenszyklusphase für den gesamten Ressourcenverbrauch der Wertschöpfungskette ausdrücken. Es wird dabei dieselbe Punkteskala wie im ersten Analyseschritt verwendet (s. Kap. 2.5). In einem abschließenden Schritt werden diese Gewichtungsfaktoren dann zur Ermittlung der Hot Spots herangezogen (s. Kap. 2.7).

Die für die meisten Produkte/Dienstleistungen zur Verfügung stehende Datenlage lässt eine detaillierte Untergliederung in die in Kapitel 4 angewendeten Ressourcenkategorien abiotische und biotische Materialien, Wasser und Energie nicht zu, so dass in diesem zweiten Schritt eine Aggregation auf die zwei Kategorien „nicht-energetische“ (d.h. abiotische & biotische Materialien sowie Wasser) Ressourcen und „Energie“ vorgenommen wurde.

Die folgende Abbildung zeigt, wie eine solche Bewertung aussehen könnte. In dem hier gewählten Beispiel zeichnet sich die Rohstoffphase durch eine hervorgehobene Relevanz aus.

Abb. 2: Bestimmung von Lebenszyklusgewichtungsfaktoren durch die Betrachtung der relativen Relevanz der Phasen zueinander

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---|-----------------|---------------------|----------------|-------------------|
| Nicht-energetisch | 3 | 1 | 1 | 2 |
| Energie | 2 | 2 | 3 | 1 |

2.7 Identifizierung der Hot Spots

Zur Identifizierung der „Hot Spots“ werden in einem abschließenden Schritt die Ressourcenintensitäten innerhalb der einzelnen Lebenszyklusphasen (s. Kapitel 2.5) mit den Lebenszyklusgewichtungsfaktoren aus dem zweiten Analyseschritt (s. Kapitel 2.6) verrechnet. Mathematisch geschieht dies durch eine Multiplikation, um so eine bessere Akzentuierung der Aussagen zu realisieren. Die Ressourcenkategorien abiotische und biotische Materialien sowie Wasser werden jeweils mit dem Gewichtungsfaktor „nicht-energetische“ Ressourcen multipliziert, Energie mit dem Faktor für Energie. Um dies an einem Beispiel für die Lebenszyklusphase Rohstoff zu verdeutlichen:

- In Kapitel 2.5 wurden für die Lebenszyklusphase Rohstoff die in den Klammern angegebenen Bewertungspunkte vergeben: abiotische Materialien (3), biotische Materialien (1), Wasser (2) und Energie (3).

- Als Lebenszyklusgewichtungsfaktoren (s. Kapitel 2.6) wurden für die nicht-energetischen Ressourcen eine Bewertung von (3), für die Kategorie Energie eine (2) ermittelt.
- In der Multiplikation ergeben sich: abiotische Materialien $3 \times 3 = 9$, biotische Materialien $1 \times 3 = 3$, Wasser $2 \times 3 = 6$ und Energie $3 \times 2 = 6$.

Es werden Gesamtbewertungen zwischen 1 und 9 Punkten für jede der betrachteten Kombinationen aus Ressourcenkategorien und Lebenszyklusphase errechnet und erneut in Tabellenform dargestellt. Als „Hot Spots“ werden Bewertungen mit einem Ergebnis zwischen 6 und 9 Punkten bezeichnet. Für jede betrachtete Wertschöpfungskette ergibt sich daraus eine Übersicht der bedeutendsten Lebenszyklusphasen hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs. Wie schon anfangs angedeutet, wurden hier keine Produktivitätspotenziale ermittelt.

Abb. 3: Identifizierung der Hot Spots in Wertschöpfungsketten

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|-----------------------------------|-----------------|---------------------|----------------|-------------------|
| Abiotische Materialien | 9 | 1 | 2 | 4 |
| Biotische Materialien | 3 | 2 | 1 | 4 |
| Wasser | 6 | 3 | 3 | 2 |
| Energie | 6 | 2 | 9 | 1 |

3 Grundlegende Aspekte bei der Auswahl der Produktketten

Die Analyse der vorhandenen Ressourcenpotenziale entlang eines Produktlebenszyklus sollte in Produkt-/Dienstleistungssystemen erfolgen, die für hohe ökologische Belastungen verantwortlich gemacht werden. Neben dem Ressourcenverbrauch sind weitere Auswahlkriterien die Kommunizierbarkeit der Erkenntnisse an ein breites Publikum sowie der Bezug zum zunehmend wichtiger werdenden Diskurs um nachhaltigen Konsum, insbesondere wenn es darum geht die Produkt-/Dienstleistungssysteme innerhalb von Bedarfsfeldern auszusuchen.

Demnach bilden folgende Aspekte Grundkriterien für die Auswahl:

- hoher Ressourcenverbrauch,
- innovative Zukunftsmärkte,
- Befriedigung von Grundbedürfnissen und
- gute Kommunizierbarkeit.

Für die Analyse werden sowohl Ergebnisse aus vorherigen Projektabschnitten berücksichtigt als auch eine Auswertung einschlägiger Studien vorgenommen. Für die weitere Untersuchung gilt die Betrachtung von Bedarfsfeldern als wesentliches Auswahlkriterium.

3.1 Auswahl der Produktketten

In Arbeitspaket 2.1 des Gesamtprojektes wurde eine Untersuchung zur Identifizierung der Produktionssektoren mit dem höchsten Ressourcenverbrauch vorgenommen¹¹, die auch bei der Auswahl der betrachteten Bedarfsfelder Berücksichtigung fand. Aufgrund dieser Analyse wurden die folgenden drei Produktgruppen als aus Stoffstromsicht besonders relevant identifiziert:

- 1) Steine/Erden und Bauleistungen
- 2) Landwirtschaft und Ernährung
- 3) Metalle und Automobil

Diese Produktgruppen sind für ca. 50% des Dul-TMR¹² verantwortlich. Insgesamt wurden zehn Sektoren ermittelt, die insgesamt über zwei Drittel des globalen Materialaufwands der deutschen Wirtschaft verursachen.

Die Relevanz der vorgenannten Branchen bzgl. der höchsten Umweltbelastungen wird auch durch die EIPRO Studie (Environmental Impact of Products, April 2005)¹³ bestä-

¹¹ Durchgeführt durch José Acosta Fernandez (Wuppertal Institut).

¹² Als Dul-TMR wird der direkte und indirekte globale Materialaufwand bezeichnet.

tigt. Diese Studie stellt die aktuellste und umfassendste Analyse der lebenszyklusweiten ökologischen Belastungen von Produkten dar. Bezüglich der Umweltauswirkungen ergibt sich ein ähnlicher Fokus für die Sektoren Lebensmittel und Getränke, Bauen und Informations- und Kommunikationstechnologie (vgl. EIPRO S. 36 ff). Die Zuordnung der Produktketten zu den Sektoren erfolgte anhand ihrer letzten Verwendung (hauptsächlich durch den Endkonsumenten). Zu den in dieser Studie betrachteten ökologischen Aspekten zählen: Energieverbrauch, Bodennutzung, allg. Ressourcenverbrauch, Wasser, Eutrophierung, Treibhausgase, Smog, Säurebildung und Abfall. Die höchste Relevanz beim Energieverbrauch wurde den Sektoren Lebensmittel und Getränke, Stromnutzung (insbesondere zum Heizen) und dem Personenverkehr zugeordnet. Bei der Bodennutzung stehen der Lebensmittelsektor und der Bausektor im Vordergrund der Betrachtung. Dasselbe Ergebnis ergibt sich für den Indikator allg. Ressourcenverbrauch. Allgemein verursacht der Lebensmittelsektor innerhalb der EIPRO-Analyse die höchsten negativen ökologischen Belastungen. Die der Haushaltsgeräteklassifikation zugeschlagenen Produkte der Informations- und Kommunikationselektronik weisen hier ebenfalls eine gesonderte Relevanz auf, wenngleich dies nicht von allen bei EIPRO berücksichtigten Studien einheitlich gesehen wird.

Eine Studie zur Steigerung der Materialeffizienz in mittelständischen Unternehmen¹⁴ zeigte auf, dass erhebliche Anteile (durchschnittlich ca. 40%) des globalen Materialverbrauchs über Importe aus dem Ausland generiert werden, um den Bedarf inländischer Produktion und des inländischen Konsums zu decken (vgl. EIPRO S. 28). Diese Studie unterstreicht die Relevanz des Baugewerbes sowie der Herstellung von Metalizerzeugnissen und Kunststoffwaren hinsichtlich des globalen Ressourcenverbrauchs. Metall- und Kunststoffherzeugnisse sind besonders für die Informations- und Kommunikationstechnologie von besonderer Bedeutung, da sie hier wichtige Grundstoffe darstellen. Im Rahmen der vorliegend vorgenommenen Untersuchung wird der Fokus auf die Bedarfsfelder **Bauen und Wohnen, Ernährung, sowie Informieren- und Kommunizieren bzw. einer dazu einsetzbaren Technologie** gerichtet und im Folgenden deren ökologische Relevanz begründet.

3.1.1 Relevanz des Bedarfsfeldes Bauen und Wohnen

Von den jährlich durchschnittlich 51 t natürlicher Ressourcen (Bringe zu 2004, S. 78), die jeder Mitteleuropäer im Jahr nutzt, resultieren bezogen auf die Bevölkerung in Deutschland ca. 30% aus der Art, wie Menschen heute noch bauen und wohnen. Knapp die Hälfte der Weltbevölkerung (47%) lebt heute in Stadtgebieten, bis zum Jahr 2050 ist mit einem Anstieg auf 65% zu rechnen (vgl. GEO3 2002). Die städtische und industrielle Entwicklung fördert den Ausbau der industriellen Infrastruktur und auch den

¹³ Die Studie wurde im Rahmen der Aktivitäten der Europäischen Kommission zum Konzept der integrierten Produktpolitik (IPP) durchgeführt. Auf Basis einer sehr umfangreichen Literaturanalyse wurden 10 Studien bzw. Reports identifiziert, die die ökologischen Hot Spots entlang des Produktlebenszyklus untersuchen.

¹⁴ Erstellt vom Wuppertal Institut in Zusammenarbeit mit Arthur D. Little und dem Fraunhofer-Institut.

Bau von Wohngebieten. Je nach Art und Weise wie diese Maßnahmen umgesetzt werden, nehmen sie großen Einfluss auf die Umwelt und die Verfügbarkeit von anbaufähigem Boden.

„Im Hinblick auf die Bemühungen der globalen Gesellschaft wirkliche Nachhaltigkeit zu erreichen, spielt wahrscheinlich keine Branche der Industrie potenziell eine so große Rolle wie der Bausektor. Dieser Sektor umfasst ein Zehntel der Bruttoinlandsprodukte, weltweit mindestens 7% aller Arbeitsstellen, die Hälfte des Ressourcenverbrauchs¹⁵ und bis zu 40% an Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen“ (Halls 2003, S. 3; übersetzt).

Der Großteil des Energieverbrauchs in deutschen Haushalten wird für das Heizen (ca. 78%) der Wohnräume genutzt, gefolgt vom Erhitzen von Wasser (ca. 15%) sowie Beleuchtung (OECD 2002, Jörissen et al. 2005).

Als aus ökologischer Sicht drängende Problemfelder im Bedarfsfeld Bauen und Wohnen identifizierte die Enquete-Kommission zum Schutz des Menschen und der Umwelt bereits im Jahr 1997 neben dem Themenfeld „Flächenverbrauch“ den Problembereich der „Stoffströme“. So konstatierte sie in ihrem Zwischenbericht, dass im Bereich „Bauen und Wohnen“ nicht nur die größten Stoffstromanteile mit ca. einem Viertel der vom Menschen verursachten mineralischen Stoffströme besonders groß seien, sondern wies zugleich darauf hin, dass rund 40% des jährlichen Abfallaufkommens ebenfalls dem Bausektor zuzurechnen seien. Die anfallenden Abfallmengen¹⁶ seien jedoch „erheblich geringer“ als die jährlich in Bauwerken gebundenen Baustoffe. Je nach Rechenmodell werden Relationen zwischen Stoffinput und Stoffoutput von 2:1 bis 10:1 angegeben (Deutscher Bundestag 1997).

3.1.2 Relevanz des gewählten Produkts im Bedarfsfeld Bauen und Wohnen

In diesem Bedarfsfeld bietet sich die Auswahl eines „Wohngebäudes“ als Untersuchungsgegenstand aus den zuvor genannten ökologischen Gründen, der großen Anzahl neu zu erstellender und/oder zu modernisierenden Gebäude und der vermuteten Potenziale zur Steigerung der nationalen Ressourcenproduktivität an. Aus diesem Segment abgeleitete Erkenntnisse lassen sich, so lassen erste Untersuchungen vermuten, (nur) zum Teil auch auf den Bereich der Nicht-Wohngebäude übertragen. Dieses Segment wird in dieser Studie aber ausgespart, da insgesamt von einem geringeren saldierten Ressourcen-Einsparpotenzial auszugehen ist. Ursächlich ist dafür die wesentlich kleinere Anzahl dieses Gebäudetypus bezogen auf den Gesamtgebäude-

¹⁵ Die abweichende Größenordnung des Ressourcenverbrauchs von Halls zu den vom Wuppertal Institut genannten rd. 30% pro Bundesbürger liegen vermutlich in einem unterschiedlichen Verständnis des Begriffs Ressourcen begründet und/oder in einer anderen Datengrundlage.

¹⁶ Neben der Masse der Baustoffströme bereiten kleinere Massenströme einzelner Komponenten oder Beimengungen zu Baustoffen ökologische oder gesundheitliche Probleme, die in einer reinen Stoffstrombetrachtung nicht mit abgebildet werden können. Heute verbaute Stoffe werden i.d.R. nach 30 bis 100 Jahren zu Abfall. Bereits in den 80er Jahre wuchs die Erkenntnis, dass der Einsatz z.T. neuer Bauhilfsstoffe und der Gebrauch von Verbundmaterialien zu Schwierigkeiten bei einem späteren Recycling von Bauschutt (Deutscher Bundestag 1997) führt.

bestand. Perspektivisch ist eine Befassung mit diesem Gebäudetypus aber sicherlich auch sinnvoll, da erste Studien, zumindest im Hinblick auf die Energieeffizienz, ein großes Einsparpotenzial ausgewiesen haben (K. Voss et al. 2006). Ob dies auch für die Gesamtheit der eingesetzten Ressourcen (Material und Energie) in der gesamten Wertschöpfungskette gilt, wäre in einem gesonderten Vorhaben zu untersuchen.

Seit dem Anstieg der Energiepreise zu Beginn der 70er Jahre wurden für Neubauten über gesetzliche Regelungen Obergrenzen für Energieverluste und –verbrauch festgelegt (Wärmeschutzverordnung, Heizanlagenverordnung). Allerdings legen erste Studien nahe, dass einige der durch den Einsatz von Dämmstoffen erreichten Energieeffizienzgewinne durch höhere Ressourcenaufwendungen in der Herstellungsphase der Bau- und Dämmstoffe kompensiert werden (Wallbaum 2002; Wuppertal Institut 2000; Wuppertal Institut 2003).

„Gebäude sind langlebig. So sind zwei Drittel der im Jahr 2030 bewohnten Häuser heute gebaut, jedes Jahr kommen nur 1% Neubauten dazu“ (Fachinformationszentrum Karlsruhe 2002, S.1). Nicht nur im Hinblick auf den Energieverbrauch kommt der Modernisierung und darin insb. der energetischen Sanierung von Gebäuden eine besondere Bedeutung zu. Betrachtet man den Materialbestand von ca. 27.221 Mio. t im Bau-sektor und vergleicht dann den direkten und indirekten Materialinput von 1.287 Mio. t beim durchschnittlichen Hausbau mit dem hiermit realisierten neuen Materialbestand von nur 790 Mio. t (Schmidt-Bleek 1999), wird offensichtlich, dass der Erhalt und die Wiederverwendung dieses Materialbestandes eines der größten realisierbaren Ressourceneffizienzpotenziale darstellen. Ob und auf welchem Niveau Baustoffe nach der Gebäudenutzungsphase wieder verwendbar sein werden, wird häufig schon bei der Gebäudeplanung entschieden. Schlecht zu trennende Verbundsysteme können meist nicht wieder verwendet werden, denn wo der Trenn-Aufwand zu hoch ist oder anfallende Baustoffmengen zu gering sind, ist eine Wiederverwendung unwirtschaftlich.

3.1.3 Relevanz des Bedarfsfeldes Ernährung

Die Ernährung stellt für den Menschen nicht nur ein essentielles Grundbedürfnis dar, sie gehört auch, wie in Kapitel 3.1 dargestellt, zu den Produktgruppen, die aus Stoffstromsicht als besonders relevant einzuschätzen sind.

Wenngleich sich die durch Landwirtschaft und Ernährung verursachten Stoffströme von Region zu Region z.T. erheblich unterscheiden, so ist vor dem Hintergrund des weiteren Anstiegs der Weltbevölkerung (2050 wird mit ca. neun Milliarden Menschen gerechnet) mit einem weiter ansteigenden Bedarf an Lebensmitteln und damit notgedrungen auch der Bedarf an Anbaufläche zu rechnen. Für die Landwirtschaft nutzbarer Boden stellt indes eine knappe Ressource dar, hinsichtlich derer einige Länder sich bereits heute vor Versorgungsprobleme gestellt sehen. So ist beispielsweise der für Landwirtschaft nutzbare Boden pro Person weltweit bereits auf 0,12 Hektar pro Person

gesunken.¹⁷ Auch sind die Anbau- und Produktionsmethoden durch erhebliche Ressourcenineffizienzen gekennzeichnet. Laut Bringezu gelangte Mitte der neunziger Jahre in Deutschland etwa ein Drittel des gesamten Stickstoffeintrags auf die Äcker ungenutzt in Boden und Grundwasser. Für die Produktion tierischer Biomasse werden Stickstoffverluste von mehr als 80 Prozent genannt (Bringezu 2004, S. 117).

Obwohl die signifikantesten Probleme eher in der Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln liegen, nehmen Konsumenten immensen Einfluss durch ihren Nahrungsmiteleinkauf, die Art der Lagerung und Zubereitung sowie die Menge an Abfall, die sie produzieren. Beispielsweise werden 7-12% des gesamten Energieverbrauchs im Haushalt für den Bereich Ernährung aufgewendet. Eine Studie des USDA Economic Research Service (OECD 2001, S. 6) konstatiert, dass 27% der genießbaren Nahrungsmittel durch die Aktivitäten von Herstellern, Händlern und Konsumenten als Abfall enden. Die Emission von Treibhausgasen verursacht durch Haushalte ist zurückzuführen auf die Zubereitung und Verarbeitung von Lebensmitteln, erforderliche Transporte von Konsumenten zu Lebensmittelgeschäften und ihre Ernährungsweise im Allgemeinen. Laut einer Studie können 42% aller CO₂-Emissionen der Herstellung, der Distribution und dem Konsum von Nahrungsmitteln zugerechnet werden (OECD 2001, S. 6). Zudem machen Lebensmittelverpackungen insgesamt rund 70% des Haushaltsabfalls in Industrieländern aus (UNEP 2002). Aus den dargestellten Gründen wird das Bedarfsfeld Ernährung als besonders relevant für eine Untersuchung der Ressourcenproduktivität und eine Ermittlung von Verbesserungspotenzialen gesehen.

3.1.4 Relevanz gewählter Produkte im Bedarfsfeld Ernährung

Während das Bedarfsfeld Bauen und Wohnen von einem Produkt dominiert wird (das Haus), muss im Bedarfsfeld Ernährung aufgrund der Vielzahl an Produkten eine Auswahl getroffen werden. Ausgehend von den Rohmaterialien können Lebensmittel auf pflanzlicher und tierischer Basis unterschieden werden. Dabei kann verallgemeinert gesagt werden, dass in der überwiegenden Mehrzahl die Erzeugung pflanzlicher Lebensmittel und hierfür erforderlicher Grundstoffe mit geringerem Ressourcenverbrauch verbunden ist. Dies ist in der einfachen Tatsache begründet, dass Tiere (pflanzliche) Futtermittel nicht nur zur Erzeugung der Rohstoffe (Milch, Eier, Fleisch usw.) verwenden, sondern zudem noch einen Grundumsatz an Kalorien zum Erhalt der Lebensfunktionen benötigen. D.h. bei der Verfütterung von Pflanzen an Tiere wird zwangsläufig ein großer Teil der eingesetzten Ressourcen nicht in das finale Produkt umgewandelt, sondern durch das Tier verstoffwechselt und veratmet. Unter einer rein funktionalen Betrachtung als Lieferant von Rohstoffen sind mit der Produktion tierischer Lebensmittel somit im Allgemeinen größere Ressourcenverbräuche als bei pflanzlichen Lebensmitteln verbunden.¹⁸

¹⁷ Vgl. UNEP (2001): Agrifood and the Environment. Key environmental impacts from agri-food production. In: <http://www.unep.org/pc/agri-food/Issues.htm>, vgl z.B. Millennium Ecosystem assessment.

¹⁸ Diese Argumentation ist selbstverständlich stark vereinfachend, blendet sie doch eine Vielzahl an Faktoren wie z.B. ethische, ernährungsphysiologische und kulinarische Aspekte aus. Bspw. wird auch

Als Beispiel für ein tierisches Lebensmittelprodukt wurde im Rahmen dieser Studie das Produkt Frischkäse gewählt. Frischkäse gehört in Deutschland zu den viel verzehrten Produkten. Im Jahr 2004 verbrauchte jeder Bundesbürger im Schnitt 8,5 Kilogramm Frischkäse (und Quark). Der Pro-Kopf-Verbrauch an Käse insgesamt lag bei 22 kg; Frischkäse (inkl. Quark) hat demzufolge einen Anteil von über einem Drittel am Gesamtverbrauch.

Herstellung und Konsum von Frischkäse als tierischem Produkt sind mit Ressourcenverbräuchen insbesondere in der (landwirtschaftlichen) Produktionsphase verbunden. Relevant sind die Haltung und Fütterung der Tiere sowie das Gewinnen, Verarbeiten und Transportieren der Milch bzw. Milchprodukte.

Als Beispiel für ein pflanzliches Lebensmittelprodukt wurde Kaffee untersucht. Kaffee ist eines der beliebtesten Getränke in Deutschland. Nach Angaben des Deutschen Kaffeeverbandes lag der pro Kopf Verbrauch 2004 bei 151 Liter oder 6,4 Kilogramm Kaffee und nimmt damit die Spitzenstellung unter den Getränken ein. Insgesamt wurden 525.930 Tonnen Rohkaffee (8,77 Mio. Sack zu 60 Kilogramm) an Kaffeeprodukten abgesetzt, womit die Kaffeeindustrie 3,4 Milliarden Euro umsetzte. Wenngleich Kaffee mit einer Fläche von 10,9 Mio. Hektar nur einen relativ kleinen Anteil an der weltweit kultivierten Fläche einnimmt, so stellt er insbesondere für Entwicklungsländer ein überaus wichtiges Exportgut dar und bietet schätzungsweise 20 bis 25 Mio. Menschen Beschäftigung (Deutscher Kaffeeverband 2005). 22 bis 25 Prozent der Kaffeebohnen werden im Durchschnitt in den Herkunftsländern konsumiert, während der Rest hauptsächlich per Schiff in die Exportmärkte transportiert wird (EDE 2001). Die USA und EU zusammen importieren rund zwei Drittel des weltweit produzierten Kaffees (WRI/UNDP 1998).

Zudem ist Kaffee ein gutes Beispiel für ein Nahrungsmittel, das nicht primär zur Befriedigung eines Grundbedürfnisses konsumiert wird, sondern zumindest teilweise Ausdruck von Freizeitgestaltung, Life-Style und Luxus ist. Vor dem Hintergrund der Diskussion um nachhaltigen Konsum und Konsumstile kann dies daher als gut kommunizierbares Beispiel angesehen werden.

3.1.5 Relevanz des Bedarfsfeldes Kommunikation und Informationsverarbeitung

Im Zuge der Globalisierung haben die Transaktionen zwischen Unternehmen entlang internationaler Wertschöpfungsketten immens zugenommen. Neue Technologien wie z.B. das Internet oder die Entwicklung von Handys ermöglichen eine weltweite Kommunikation zwischen den verschiedenen Akteuren wie Lieferanten, Produzenten, Händlern und Konsumenten. Die Abwicklung von Daten- und Informationsflüssen stellt dabei einen essentiellen Bestandteil wirtschaftlicher Aktivitäten dar. Neben der Veränderung von ökonomischen Prozessen haben neue Technologien auch das Zusammen-

nicht berücksichtigt, dass nicht alle pflanzlichen Rohstoffe für die menschliche Ernährung geeignet sind.

leben von Individuen verändert. Immer beliebter werden Mobiltelefone. Nachdem stationäre Telefone in nahezu allen privaten Haushalten Deutschlands vorhanden sind, gab es in den letzten Jahren bei der Ausstattung mit Mobiltelefonen extrem hohe Wachstumsraten. 1998 verfügte nicht einmal jeder zehnte Haushalt über ein Mobiltelefon oder "Handy" - 2001 waren es mehr als die Hälfte der Haushalte in Deutschland (56%). Weltweit steigt die Zahl der verkauften Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) Geräte weiterhin deutlich an (s. auch nächstes Kapitel).

Die mit der stetig steigenden Nutzung von IKT Geräten verbundenen ökologischen Auswirkungen sind dabei beachtlich. Bereits im Jahre 2000 lag der Stromverbrauch aller im Zusammenhang mit dem Internet betriebenen Geräte, wie Server, Router oder Terminals bei 5 Milliarden Kilowattstunden, so die Berechnung des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie. Im Jahre 2001 waren es bereits 6,8 Milliarden Kilowattstunden. Das entspricht einer Steigerung des Stromverbrauchs innerhalb eines Jahres durch das Netz von über 36 Prozent auf 1,35 Prozent des gesamten Strombedarfs in Deutschland. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Online-Dauer pro PC schätzungsweise zwischen 7 Stunden (Normal-User) und 24 Stunden (sog. Power-User) pro Woche liegt. Der überwiegende Anteil der Geräte wird mit dem durchschnittlichen deutschen Strommix versorgt: d.h. zu über 80% aus Atom- und Kohlekraftwerken (Barthel et al. 2000). Doch nicht nur die Anwendung, sondern auch die Herstellung der Geräte ist mit Ressourcenverbräuchen verbunden. So verbraucht die Herstellung eines heutigen PCs, schließt man die mit der Rohstoff-gewinnung und Verarbeitung verbundenen Materialflüsse mit ein, etwa 0,5 bis 1,5 t an primär abiotischen Rohstoffen (Türk 2003, S. 120). Die Deutsche Telekom kommt zu dem Schluss „Die Telekommunikation ist nicht [...] per se umweltverträglich, sie hat ihre eigenen Umweltauswirkungen wie jede andere Industrie auch“ (Otto 2001).

In der öffentlichen Wahrnehmung wird die Informations- und Kommunikationstechnologie hingegen kaum mit Umweltauswirkungen assoziiert. Anwendungsfelder wie Teleworking, Videokonferenzen, die Digitalisierung von Verwaltungsabläufen werden vielmehr als Chancen zur Dematerialisierung von Wirtschaftsprozessen gesehen, die Technologie als ganzes als Hoffnungsträger für Wirtschaft und Umwelt dargestellt (Kuhndt et al. 2003). Da die Informations- und Kommunikationstechnologien auch perspektivisch zunehmend Einzug in die Gesellschaft halten werden und dieser Sektor hohe Innovationspotenziale aufweist, wird auch er im Zuge dieser Studie eingehender untersucht.

3.1.6 Relevanz des ausgewählten Produkts im Bedarfsfeld Kommunikation und Informationsverarbeitung

Eines der das Bedarfsfeld Kommunikation und Informationsverarbeitung prägenden Produkte ist der Personal Computer (PC). Er wird nicht mehr nur im klassischen Sinne zur Informationsverarbeitung eingesetzt, sondern spielt insbesondere vor dem Hintergrund der sich verbreitenden Nutzung des Internets auch zunehmend eine wichtige Rolle als Kommunikationsmedium.

Laut einer Studie von BITKOM (2006) waren im Jahr 2005 weltweit ca. 880 Millionen PCs installiert. Dies entspricht einem Anstieg gegenüber dem Vorjahr von 16%. In Deutschland waren in 2005 mit 34,3 Millionen PCs 8% mehr Computer im Gebrauch als im Jahr zuvor. Pro 100 Einwohner in Deutschland entspricht dies einer Anzahl von 43 PCs. Global vorne liegen im Vergleich dazu die USA mit 84 PCs je 100 Einwohner und die skandinavischen Länder mit 60 Geräten. Für 2006 wird in Deutschland mit einem Wachstum von 6% auf 45 PCs/Einwohner gerechnet.

Trotz dieser enormen Zahlen wird das Internet sowie die sich dahinter verbergende Infrastruktur gemeinhin nicht mit signifikanten Umwelteinwirkungen bzw. Ressourcenverbräuchen assoziiert. Es herrscht die Annahme vor, dass dieses weltumspannende Kommunikationsmedium genauso virtuell sei wie sein Inhalt. Zuweilen wird es gar als eine der Innovationen angesehen, die eine nachhaltigere und weniger ressourcenintensive Lebensweise ermöglichen. In diesem Sinne äußert sich beispielsweise die Europäische Kommission in dem Bericht „Umwelttechnologie für eine nachhaltige Entwicklung“ und kommt dort zu dem Schluss, dass eine wirksam ausgerichtete und schnellere Informations- und Kommunikationstechnologie eine entscheidende Entwicklung hin zu einer nachhaltigeren Entwicklung darstellen könnte. Mit diesen Technologien könnten natürliche Ressourcen durch Prozessoptimierung, Produktverbesserung, Wechsel von Produkten zu Dienstleistungen oder Strukturwandel effizienter genutzt werden (EU 2002). Dass diverse Studien die IKT Infrastruktur sowie deren Betrieb mit z.T. erheblichen Ressourcenverbräuchen in Verbindung bringen, wird in Kapitel 4.5 dargestellt.

Vor dem Hintergrund des rasanten Ausbaus der IKT Infrastruktur und der weiterhin vorherrschenden Annahme, dass diese nicht mit relevantem Ressourcenverbrauch verbunden sei, wurde der PC als weiterer Untersuchungsgegenstand für diese Studie ausgewählt.

4 Hot Spot-Analyse auf Mikro- bzw. Meso-Ebene

4.1 Bedarfsfeld Wohnen – Beispiel Wohngebäude

4.1.1 Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen

Als Produktbeispiel im Bedarfsfeld Wohnen wurde das „Wohngebäude“ gewählt. Die Wertschöpfungskette Wohngebäude spannt sich von der Gewinnung von Rohmaterialien für Baustoffe, über die Herstellung von Baumaterialien, die Planungs- und Bauphase des Gebäudes, bis hin zur Gebäudenutzung, -umnutzung sowie Rückbau bzw. Entsorgung.

Im Hinblick auf Ressourceneffizienzaspekte sind folgende Gebäudegruppen zu unterscheiden:

- Wohn- und Nichtwohngebäude
- Alt- und Neubauten

Die vorliegende Hot Spot-Analyse betrachtet exemplarisch (neue) Wohngebäude. Es wird aber auch dezidiert auf den Gebäudebestand eingegangen, da er den wesentlichsten Beitrag zur Ressourceneinsparung leisten kann. Tendenziell lässt sich für Wohngebäude sagen, dass Altbauten (sofern sie nicht nach neuestem Standard energetisch saniert sind) deutlich mehr Energie in der Nutzungsphase benötigen (rd. um den Faktor 2 – 20) als Neubauten, wobei Baustoffe in Neubauten häufig einen höheren Ressourcenaufwand in der Herstellung aufweisen.¹⁹

Ein Wohngebäude hat in aller Regel eine hohe Langlebigkeit.²⁰ Zugleich wird ein überwiegender Teil der in den Bau eingebrachten Baustoffe für die Zeit der Nutzungsdauer im Gebäude gebunden. Die Entscheidung über eine Wiederverwendung oder Entsorgung bleibt häufig einer anderen Generation überlassen, als jener, die das ursprüngliche Bauwerk schuf. Wiederverwendungs- oder Recyclingmöglichkeiten werden über die Trennbarkeit und die verwendeten Baustoffe hingegen bereits in der Planungsphase eines Gebäudes maßgeblich mitbestimmt.

Der Materialbedarf der Herstellung einzelner Baustoffe kann sehr unterschiedlich ausfallen. Da zudem Raumprogramm, Dimensionierung und Bauweisen von Wohngebäuden höchst unterschiedlich sind, ist es schwierig aus Stoffstromsicht durchschnittliche „Referenzgebäude“ auszuweisen.

Die vorliegende Hot Spot-Analyse wird deshalb anstatt anhand eines einzelnen Beispielgebäudes auf Grundlage von Durchschnitts- und Erfahrungswerten aus mehreren

¹⁹ Vgl. Wuppertal Institut 2000.

²⁰ Vgl. u.a. BMVBW 2001.

vorangegangenen Studien zu einem Gesamtüberblick zusammengefasst^{21 22} (vgl. Kap. 4.1.6).

Auch wenn zur Entsorgungsphase von Gebäuden aus Stoffstromsicht nur wenige Erkenntnisse vorliegen, wird die Phase der Entsorgung deshalb zumindest qualitativ berücksichtigt und sollte zukünftig detaillierter untersucht werden.

4.1.2 Rohstoff

In der Planungsphase eines Gebäudes wird über Bauweise und Materialwahl entschieden. Aus Stoffstromsicht ist diese am Anfang stehende übergreifende Phase entscheidend, da sich hier die wichtigsten „Stellschrauben“ hinsichtlich des lebenszyklusweiten Ressourcenbedarfs des Bauwerks bieten.

Ein Überblick über die im „Leitfaden nachhaltiges Bauen“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen aufgeführten Planungsgrundsätze (s. Kap. 7.2 im Anhang) spiegelt die Relevanz der Planungsphase für die lebenszyklusweite Ressourceneffizienz wider und deutet zugleich die Komplexität an, die sich hinter einem ganzheitlichen Planungsanspruch verbirgt. Mit der Wahl der zu verwendenden Bauweise wird über einen großen Teil der Baustoffoptionen mit entschieden. Doch selbst wenn die Bauweise bereits feststeht, ergeben sich im Rahmen der Umsetzung vereinzelte Materialwahlentscheidungen.

Die in der Planungsphase möglichen Ressourceneffizienzgewinne strahlen in alle Phasen des Gebäudelebenszyklus. Einsparpotenziale variieren im Einzelfall jedoch stark mit dem jeweiligen Planungsentwurf, respektive der Nutzungsanforderungen, und lassen sich in dieser Phase nicht pauschal quantifizieren.

Untergliedert in die einzelnen Lebenszyklusphasen werden im Folgenden Ergebnisse wissenschaftlicher Studien aufgelistet, sowie deren Relevanz für die Ressourcenkategorien abiotische Materialien (A), biotische Materialien (B), Wasser (W) und Energie (E) hervorgehoben. Es zeigt sich, dass insbesondere der Verbrauch an abiotischen Materialien und Energie besondere Relevanz in der Rohstoffphase haben.

²¹ Vgl. u.a. Wallbaum 2002.

²² Verpackungen, Marketingmaterialien, Produktionsanlagen, Transportfahrzeuge und Maschinen fallen bei einer Zurechnung des Ressourceneinsatzes pro Haus oder pro m²-Wohnfläche/Jahr erfahrungsgemäß kaum ins Gewicht und bleiben deshalb in der vorliegenden Hot Spot-Analyse unberücksichtigt. Auch Transporte von Baustoffen bleiben bei der vorliegenden Analyse unberücksichtigt. Durch den hohen Massenaufwand zur Erstellung eines Gebäudes können weite Transporte von Baumaterialien mitunter jedoch ins Gewicht fallen. Vgl. Universität Kassel 1998, S. 113.

| Ergebnis | Relevanz |
|--|----------|
| Abb. 4 zeigt einen hohen Ressourcenverbrauch an Wasser gefolgt von abiotischen Materialien zur Gewinnung von Baustoffen. Biotische Materialaufwendungen haben nur eine untergeordnete Rolle. | W, A, B |
| Laut Abbildung 5 werden im Rohbau nur 2% Baustahl eingesetzt, die jedoch für 6% der (direkten und indirekten) abiotischen Materialaufwendungen und für 19% des Wasserbedarfs in der Herstellung verantwortlich sind. Der hohe Wasserbedarf resultiert dabei aus dem Ressourcenaufwand der Energiebereitstellung. | A, W |
| Der Anteil der elektrischen Energie an den Materialintensitäten der zur Gebäudeerstellung verwendeten Baustoffe ist insgesamt als hoch einzustufen. Der Einfluss der elektrischen Energie für die einzelnen Umweltindikatoren fällt dabei unterschiedlich aus. | E |

4.1.3 Verarbeitung

Für die vorliegende Hot Spot-Analyse wird die Bauphase als reiner Verarbeitungsschritt betrachtet. Wird entsprechend der Ressourcenaufwand für die Baustoffbereitstellung der Baustoffgewinnung zugeordnet, fallen die zusätzlichen Ressourcenaufwendungen der Gebäudeerstellung in der Gesamtbetrachtung wenig ins Gewicht²³ (vgl. Kap. 4.1.6).

Der lebenszyklusweite Materialbedarf der Baustoffgewinnung sowie der Bauwerkserstellung können sehr unterschiedlich ausfallen. Für die vorliegende Hot Spot-Analyse wurden die recht unterschiedlichen Materialintensitäts(MIT)-Werte innerhalb verschiedener Baustoffgruppen zu einem Überblick zusammengefasst und gemittelt.

²³ Aufwendungen für die Erstellung (z.B. Diesel für Bagger und Kran etc.) werden deshalb in lebenszyklusweiten Betrachtungen von Gebäuden regelmäßig vernachlässigt. Vgl. z.B. Herbst, B. 2000; Universität Kassel 1998; Wallbaum 2002.

Abb. 4: Gerundete Materialintensitäts-Werte verschiedener Baustoffgruppen (unterschiedliche Quellen)

| Baustoffgruppen* | Abiot. Material in kg/kg | Biot. Material in kg/kg | Wasser in kg/kg | Luft in kg/kg |
|--|--------------------------------|----------------------------|--------------------|------------------|
| Putze, Estriche, Mörtel ²⁴ | 2 | 0 | 10 | 0 |
| Betone ²⁵ | 1 | 0 | 3 | 0 |
| Mauersteine ²⁶ | 2 | 0 | 4 | 0 |
| Bauplatten ²⁷ | 2 | 0 | 33 | 1 |
| Holz, Holzwerkstoffe ²⁸ | 2 | 4 | 25 | 0 |
| Wärmedämmstoffe ²⁹ | 4 | 0 | 133 | 2 |
| Dachdeckungen ³⁰ | 2 | 0 | 4 | 0 |
| Beläge, Dichtungsbahnen ³¹ | 7 | 0 | 256 | 2 |
| Sonst. Stoffe, Schüttungen ³² | 2 | 0 | 10 | 1 |
| Metalle ³³ | 10 | 0 | 299 | 3 |

Wenngleich im Rahmen der Hot Spot-Analyse auf Durchschnittswerte verschiedener Wohnhäuser zurückgegriffen wird, können einzelne Zusammenhänge eingängig dargestellt werden. Im Folgenden werden deshalb die relativen Ressourcenaufwendungen der Rohbauerstellung eines beispielhaften, zweigeschossigen Reihenhauses in Massivbauweise³⁴ in den Kategorien abiotische Materialien, biotische Materialien, Wasser und Luft dargestellt (vgl. Abbildung 5). Neben den direkten Materialaufwendungen ist für jeden Indikator die prozentuale Gewichtung nach Baustoffen angegeben. Da Holz als einziger erneuerbarer Baustoff eingesetzt wird, macht er 100% des Indikators biotische Materialien aus.

²⁴ Arithmetisches Mittel aus Kalkzementmörtel und Zementestrich nach Wuppertal Institut (WI) 2000.

²⁵ Normalbeton B25 nach WI 2005.

²⁶ Arithmetisches Mittel aus Kalksandstein und Vollziegeln nach WI 2005.

²⁷ Arithm. Mittel aus Gipsfaserplatten nach mipsHAUS-Institut-Schätzung über WI 2000 und Faserzementplatten aus Lehmann 2000.

²⁸ Arithm. Mittel aus Schittholz (Fichte), Sperrholz, Spanplatten und Hartfaserplatten nach WI 2005.

²⁹ Arithm. Mittel aus PS-Hartschaum, PUR-Hartschaum, Phenolharz, Steinwolle, Schaumglas, Zellulose (aus Altpapier) und Glaswolle nach WI 2005.

³⁰ Arithm. Mittel aus Dachziegeln (geschätzt über Ziegel) und Betondachsteinen (Minimumabschätzung über Beton) nach WI 2005.

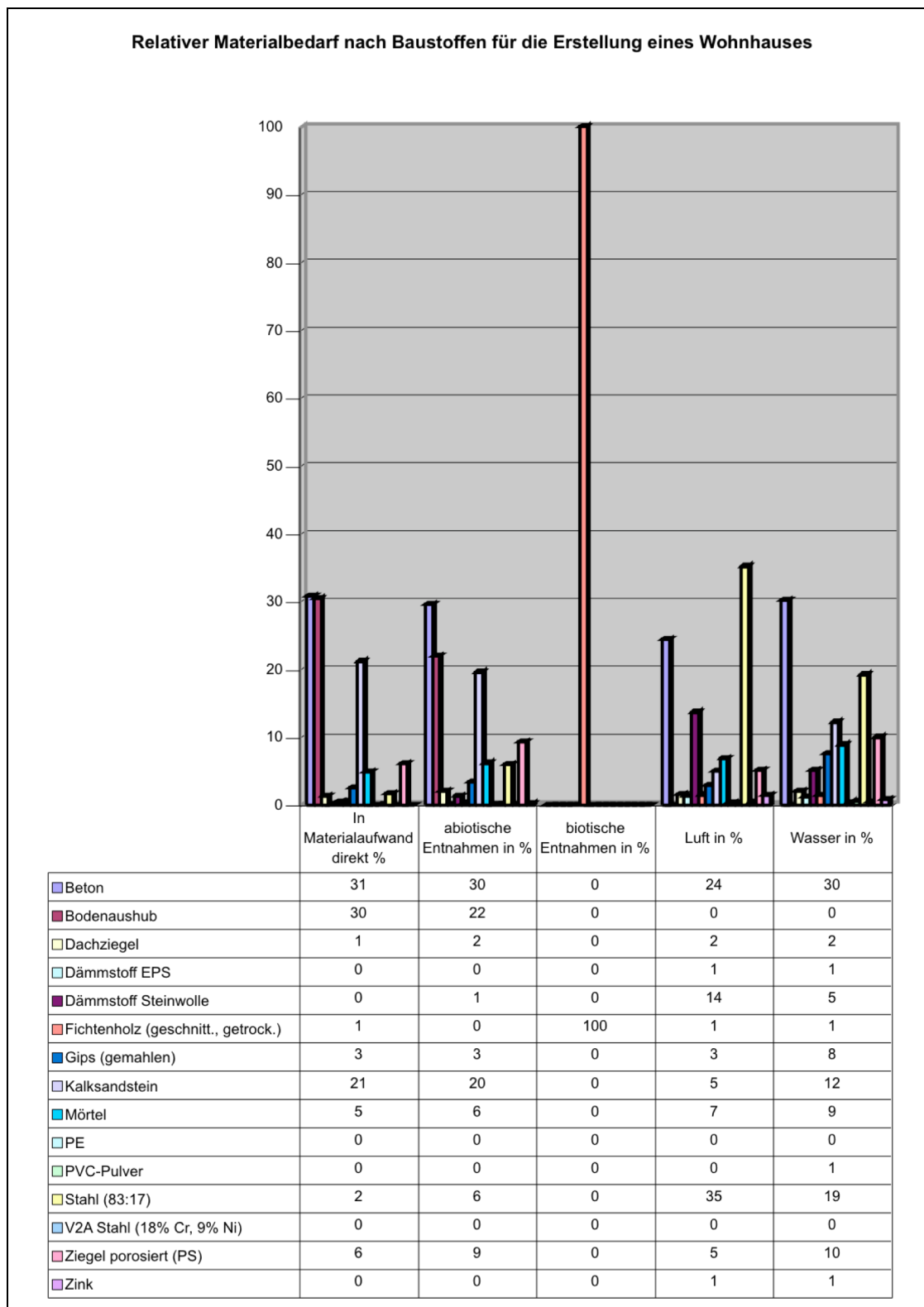
³¹ Arithm. Mittel aus Bitumendachbahn, PVC-Folie, PE-Folie, Aluminiumfolie (nach Lehmann 2000 und WI 2005; PVC-Folie = Minimumabschätzung über PVC "bulk" nach WI 2005).

³² Arithm. Mittel aus "Sand, Lehm, Schlacke"; Granit, Sandstein, Behälterglas, Floatglas, Pappe nach WI 2005.

³³ Arithm. Mittel aus Aluminium und Stahl (Kupfer etc. bleiben unberücksichtigt, da TGA nicht mitbetrachtet wird und Durchschnittswerte zur anteiligen Verwendung nicht vorliegen).

³⁴ Vgl. Wallbaum 2002.

Abb. 5: Relative Gewichtung der direkten und indirekten Materialaufwendungen für den Rohbau (Wall-
baum 2005)



Aus Abbildung 5 wird erkennbar, dass die relativen Umweltwirkungspotenziale der einzelnen Baustoffe auch im Hinblick auf die gesamte Gebäudeerstellung unterschiedlich ausfallen können. Eine besondere Relevanz in der Verarbeitung besitzen die abiotischen Ressourcen. Darüber hinaus erfahren der Energieeinsatz und der Einsatz von Wasser eine geringere, aber nicht zu vernachlässigende Bedeutung.

| Ergebnis | Relevanz |
|--|----------|
| Bei einer Untersuchung ³⁵ der Universität Kassel von vier Wohngebäuden unterschiedlicher Bauweisen und Baustandards konnten folgende Anteile des elektrischen Stroms an den Gesamt-Materialintensitäts-Werten für die Erstellung festgestellt werden: abiotische Materialien mit 4-18%, Wasser mit 72-82% und Luft mit 32-41%. | A, W |
| Bei Gebäuden in Massivbauweise konnten unterschiedlich hohe direkte und indirekte Ressourcenaufwendungen pro m ² Wohnfläche für die Bereitstellung von Baustoffen und die Erstellungsphase festgestellt werden. Die beobachteten Aufwendungen in der Erstellungsphase schwanken zwischen 3.000 und 6.000 kg abiotische Materialentnahmen/m ² Wohnfläche. Mit 14,5% der neu errichteten Wohn- und Nichtwohngebäude ist der Anteil an Holzbauten gegenwärtig als eher gering einzustufen. ³⁶ Als Faustwert für Wohnhäuser in Holzbauweise können hier 2.400kg/m ² direkte und indirekte abiotische Materialaufwendungen angenommen werden. ³⁷ | A, B |
| Bei Massivbauten machen Beton, Mauersteine, Schüttung und Metalle meist zwischen 70-80% der Gebäudeeigenmasse (nur Erstellung) aus. Dieser Bestand wird im Rahmen der Nutzungsphase i.d.R. nicht erneuert. Die übrigen 20-30% bestehen in Putzen, Estrichen, Mörtel, Wärmedämmstoffen, Dachdeckung, Beläge und Dichtungsbahnen sowie Bauplatten und unterliegen zyklischen Erneuerungen. | A |
| Ressourceneinsätze während der Bauphase sind z.B. Energiebedarf und Betriebsmittel für Maschinen und auf der Baustelle eingesetzte Baustoffe. | E, A |

4.1.4 Nutzung

Wie bereits erwähnt, hängt die Relevanz der Nutzungsphase für die Gesamtbetrachtung der Wertschöpfungskette maßgeblich mit dem Alter des betrachteten Gebäudes bzw. seinem Dämmstandard zusammen. Im Durchschnitt haben Wohngebäude eine Lebensdauer von 80-100 Jahren. In dieser Zeit werden verschiedene Gebäudeteile in unterschiedlichen Erneuerungszyklen ausgetauscht, wobei ein zusätzlicher Materialaufwand entsteht. Je nach Bauweise und verwendetem Ausgangsmaterial können diese Erneuerungen im Hinblick auf die gesamte Wertschöpfungskette unterschiedlich

³⁵ Universität Kassel 1998, S. 113.

³⁶ Vgl. Behrendt, S.; Knoll, M. 2005.

³⁷ Vgl. Wallbaum 2001; mipsHAUS 2006: Zwischenergebnisse des Gebäudetypologie-Projekts, unveröffentlicht.

stark „ins Gewicht“ fallen. Als „Faustwert“ lässt sich sagen, dass Materialerneuerungen während der Nutzungsphase zu zusätzlichen direkten und indirekten Materialaufwendungen führen, die ungefähr 50% der Ressourcenaufwendungen des Rohbaus ausmachen.³⁸

Im Zusammenhang mit der Betrachtung von Stoffströmen und Effizienzpotenzialen im Bausektor ist es wichtig, sich erneut die Verknüpfung von Energie- und Ressourcenverbrauch vor Augen zu führen. Für jede Energiegewinnung wird Material eingesetzt (z.B. fossile oder erneuerbare Energieträger), jedoch bedeutet eine Optimierung des Gebäudeenergiebedarfs im Umkehrschluss nicht immer eine Ressourcenoptimierung.³⁹ So konnte beispielsweise im Jahr 2000 bei einem ökologischen Vergleich der lebenszyklusweiten Materialintensitäten von Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern gezeigt werden,⁴⁰ dass die Materialwahl für die Gebäudeaußenhülle in der Gesamtsicht, trotz Energieeinsparungen in der Nutzungsphase, ausschlaggebend sein kann (vgl. Abbildung 5).

Wie auch schon in der Rohstoffphase, ergibt sich in der Nutzungsphase eine besondere Relevanz für den Verbrauch an Energie und abiotischen Stoffen.

| Ergebnis | Relevanz |
|---|----------|
| Der Primärenergiebedarf eines Gebäudes ergibt sich aus der Energiebereitstellung für Heizung und Warmwasser. Im Durchschnitt über die Bestandsgebäude liegt dieser bei etwa 250 kWh/m ² . Die elektrische Energie in der Nutzungsphase wird im Rahmen der nachfolgenden Betrachtungen relevant, da er primär von dem Nutzer bestimmt wird als das beim Heizwärmebedarf der Fall ist. ⁴¹ | E |
| Als Durchschnittswert anhand des Gebäudebestandes kann für Wohngebäude ein Heizwärmebedarf von 150 kWh/m ² angenommen werden, bei unsanierten Altbauten liegt der Heizwärmebedarf im Mittel bei 250 kWh/m ² . ⁴² Die Materialintensität zur Deckung des Heizwärmebedarfs variiert mit dem gewählten Energieträger (vgl. Abb. 7). | E |
| Laut Abb. 7 wird Erdgas mit 47% anteilig am meisten als Heizenergieträger eingesetzt. Heizöl ist mit 31,3% zweitgrößter Heizenergieträger. Der mit 6% geringe Stromanteil dominiert den abiotischen Materialbedarf zur Deckung des Heizenergiebedarfs mit 42 %, dicht gefolgt von Fernwärme mit 40%. Erdgas, Heizöl und Kohle verursachen demnach nur 18% der verbleibenden Materialströme. | E, A |

³⁸ Dieser Faustwert kann für Neubauten und Altbauten als gleich angenommen werden (Vgl. Wallbaum 2002).

³⁹ Vgl. Wuppertal Institut 2000.

⁴⁰ Vgl. Wuppertal Institut 2000.

⁴¹ Auch wenn diese Aussage in Einzelfällen widerlegt wird, ist eine signifikante Aussage sicherlich in der getroffenen Weise zutreffend.

⁴² Vgl. Effiziento 2005.

Abb. 6: Die energiebezogene Effizienzsteigerung im Gebäudebereich (Wuppertal Institut 1996)

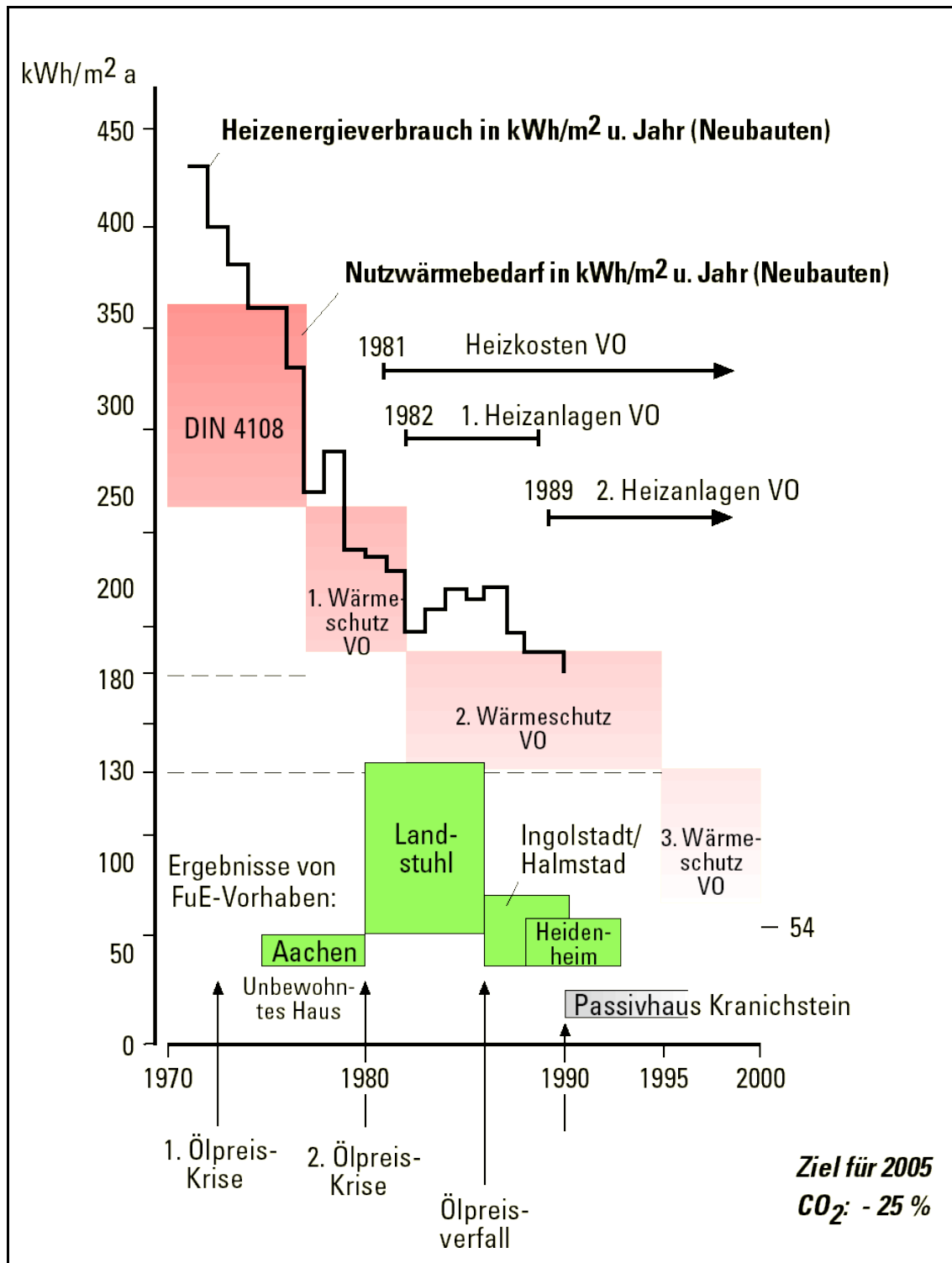


Abb. 7: Verwendung und Materialintensität verschiedener Heizenergieträger in Deutschland (nach BGW 2004; Wuppertal Institut 2005)

| Anteiliger Verbrauch in % für Heizenergie in Deutschland (bezogen auf 37,7 Mio. Wohneinheiten ⁴³) | Energieträger | Heizwerte in kWh/kg Energieträger | Abiotisches Material in kg/kWh | Wasser in kg/kWh | Luft in kg/kWh |
|---|--------------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 47,2 | Erdgas | 11,39 | 0,11 | 0,04 | 0,32 |
| 31,3 | Heizöl | 11,89 | 0,11 | 0,79 | 0,27 |
| 12,4 | Fernwärme/ Nahwärme ⁴⁴ | 1 kWh Fernwärme | 2,05 | 1,40 | 0,43 |
| 5,7 | Strom | 1kWh Strom | 4,70 | 83,10 | 0,60 |
| 3,4 | Kohle/ Steinkohle ⁴⁵ | 6,46 | 0,78 | 0,63 | 0,28 |

4.1.5 Entsorgung

Der Forschungsbedarf auf dem Gebiet der Weiternutzung und Wiederverwertung von Baustoffen muss als recht groß bezeichnet werden. Vor dem Hintergrund einer bereits heute zu beobachtenden Rohstoffknappheit könnten Abfälle aus dem Rückbau von Gebäuden wichtige Rohstofflager der Zukunft darstellen. Die Minderung der Abfallmenge beim Baustoffrecycling würde dann von einem Kernziel zu einem Nebeneffekt werden. Diese Vision ist in Japan unter dem Stichwort „urban mining“ bekannt geworden.⁴⁶

Aber auch die Sanierung und Weiternutzung von Bestandsgebäuden bietet hohe Einsparpotenziale. Analog zu den Instandhaltungsaufwendungen im Rahmen der Nutzungsphase können die Einsparpotenziale in der Erstellungsphase gegenüber einem Neubau mit bis zu 50% angegeben werden. In der Regel dürfte dieser Wert allerdings etwas niedriger liegen, da die Gebäudehülle und die zur Erhöhung des Dämmstandards verwendeten Baustoffe i.d.R. einen anteilig höheren Materialrucksack tragen als Stahlbeton oder Ziegel etc. und einem kürzeren Erneuerungszyklus unterliegen.

⁴³ Nach DeStatis 2003 a,b gab es in Deutschland 2002 ca. zwischen 38,9 Mio. und 35,8 Mio. Wohneinheiten (je nachdem, ob Unterkünfte in Wohnheimen etc. mitgezählt werden) á 89,4m² bei 2,2 Personen je Wohneinheit.

⁴⁴ MIT-Wert für Fernwärme nach Wuppertal Institut 1999, Anhang II, 5.

⁴⁵ Die Angaben der BGW enthalten nur einen Hinweis auf Kohle allgemein. Hier kann sowohl Braunkohle als auch Steinkohle gemeint sein. Vorliegend wurde die Materialintensität der Kohle über Steinkohle abgeschätzt. Die abiotische Materialintensität der Braunkohle zur Erzeugung der gleichen Heizenergie liegt ungefähr um den Faktor 5 höher als bei Steinkohle.

⁴⁶ Vgl. Kemper, B. 2003.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen zur Wertschöpfungskette „Wohngebäude“ konnte die Entsorgungsphase nur qualitativ berücksichtigt werden. Dies liegt nicht nur in der langen Lebensdauer von Gebäuden und den je nach Bundesland unterschiedlichen Entsorgungswegen begründet. Vielmehr liegen zur Materialintensität unterschiedlicher Entsorgungswege von Baustoffen bislang keine geeigneten Studien vor, um diese Lebenszyklusphase im Rahmen von Materialintensitätsanalysen quantitativ zu berücksichtigen.

4.1.6 Zusammenfassende Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen

Im Folgenden wird nun eine zusammenfassende Bewertung des Ressourcenverbrauchs zunächst innerhalb jeder Lebenszyklusphase in hoch (3), mittel (2) und niedrig (1) vorgenommen. Ressourcenproduktivitätspotenziale werden hierbei nicht berücksichtigt. Die Übersicht dient ausschließlich der Abgrenzung der Relevanz des Ressourcenverbrauchs je Lebenszyklusphase. Dabei ergibt sich folgendes Bild:

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---|---------------------------------------|---------------------------|--|--|
| Abiotische Materialien | 3 | 2 | 2 | 1 |
| Biotische Materialien | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Wasser | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Energie | 3 | 2 | 3 | 2 |
| Einfluss der Planungsphase | Materialwahl, Wahl des Zulieferers | Materialwahl, Bauweise | Energiebedarf und Wartungsaufwand in der Nutzungsphase | Möglichkeit zur Wiederverwendung/stofflichen Verwertung durch Trennbarkeit der Baustoffe und die Wahl ökologisch neutral rückbaubarer Baustoffe. |

Die so gewonnene Übersicht ermöglicht noch kein vollständiges Bild, wird doch die Bewertung nur relativ innerhalb einer Phase vorgenommen. Deshalb sollte eine Bewertung über die verschiedenen Lebenszyklusphasen hinweg ergänzt werden.

4.1.7 Lebenszyklusweite Betrachtung

Während die Gebäudeplanung durch ihren signifikanten übergreifenden Einfluss auf alle übrigen Lebenszyklusphasen als besonders relevant angesehen werden kann, werden die meisten Materialverbräuche im Rahmen der Rohstoffgewinnung und der Gebäudenutzung realisiert.

Zur Bewertung der lebenszyklusweiten Relevanz der einzelnen Phasen für den gesamten Ressourcenverbrauch wird, wie in der Beschreibung der Methodik angeführt, eine Aggregation der Ressourcen in „nicht-energetische“ Ressourcen (d.h. abiotische, biotische Materialien, Wasser) und „Energie“ vorgenommen (s. Kap. 2.6). Insbesondere die Herstellungsart für elektrische Energie hat einen signifikanten Einfluss auf den Verbrauch an nicht-energetischen Ressourcen.

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---------------------------|----------|--------------|---------|------------|
| Nicht-energetisch | 3 | 1 | 2 | 1 |
| Energie | 2 | 1 | 3 | 1 |

Als besonders relevant erweisen sich die Rohstoff- und die Nutzungsphase.

Werden nun beide Gewichtungen durch eine einfache Multiplikation der relativen mit der wertschöpfungskettenweiten Relevanz verrechnet, so ergibt sich folgendes Bild:

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---------------------------|----------|--------------|---------|------------|
| Abiotische Materialien | 9 | 2 | 4 | 1 |
| Biotische Materialien | 3 | 1 | 2 | 1 |
| Wasser | 6 | 2 | 4 | 1 |
| Energie | 6 | 2 | 9 | 2 |

Als **Hot Spots** ergeben sich der Materialverbrauch von abiotischen Ressourcen, Wasser und Energie in der Rohstoffphase sowie der Energieverbrauch in der Nutzungsphase.

Die folgende Tabelle betrachtet erste Ansätze von **Ressourceneinsparpotenzialen** entlang der Kette und zeigt Tendenzen hinsichtlich der Einsparpotenziale in den einzelnen Phasen auf (3=hoch; 2=mittel; 1=niedrig).

| | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---|---|--|--|---|
| Potenziale für Ressourceneffizienz | <ul style="list-style-type: none"> □ Entwicklung innovativer + ressourceneffizienter Baustoffe □ Verbesserung von Material- und Energieeffizienz bei der Gewinnung herkömmlicher Baustoffe □ Ressourceneffizientere Energiegewinnung (insbes. Strom) | <ul style="list-style-type: none"> □ Auswahl von Baustoffen unter Berücksichtigung von Vorketten/Zulieferern und Erneuerungszyklus (hohes Potenzial) □ Qualitativ hochwertige Bauplanung und sorgfältige Verarbeitung (Ausschuss und Nacharbeiten vermindern) □ Material + Fläche: Nutzung von Gebäudebestand statt Neubau; möglichst nicht „auf der grünen Wiese bauen“ (eher Nachverdichtung) | <ul style="list-style-type: none"> □ Instandhaltungsaufwendungen: vgl. Rohstoffgewinnung und Verarbeitung □ Senkung des Energiebedarfs für Heizwärme und Wasseraufbereitung; Umstieg auf erneuerbare oder weniger umweltbelastende Energieträger | <ul style="list-style-type: none"> □ Weiternutzung des Gebäudebestandes □ Instandhaltung bestehender Gebäude um eine Weiternutzung zu ermöglichen □ Verbessertes Baustoffrecycling auf qualitativ hochwertigem Level □ Nutzung von Bauabfällen als Rohstoffquelle |
| Abiotisch | 3 | 3 | 2 | 3 |
| Biotisch | 1 (durch Umstieg auf nachwachsende Rohstoffe eher steigend) | 1 Tlw. Umstieg auf nachwachsende Rohstoffe | 1 | 1-2 |
| Wasser | 1 (ohne Energiegewinnung) | 1 (ohne Energiegewinnung) | 1 | 2 |
| Energie | 2-3 | 3 | 3 | 3 |

4.1.8 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Bausektor

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Hot Spots der Ressourcenaufwendungen entlang der Wertschöpfungskette Wohngebäude identifiziert, wobei selten spezifische, bauweisenabhängige Unterschiede berücksichtigt wurden. Entlang der Kette wurden, anhand von Durchschnittswerten aus verschiedenen Einzelbetrachtungen und Erfahrungswerten aus vorangegangenen Studien, Hot Spots und konkrete Einsparpotenziale für die einzelnen Phasen entlang des Lebenszyklus eines Wohngebäudes benannt. Um daraus politische Zielsetzungen zu generieren, müssen die Ergebnisse der Hot Spot-Analyse auf den gesamten Bausektor und damit auf die gesamtdeutsche Ebene übertragen und Anforderungen für verschiedene Zielgruppen formuliert werden.

Die Vielzahl und Vernetzung der aufgezeigten Verbesserungsmöglichkeiten, sowie die im Vergleich zu vorhandenen Energiebetrachtungen geringe Zahl von Studien zum lebenszyklusweiten Materialverbrauch von Gebäuden erschweren eine solide Quantifizierung von Verbesserungspotenzialen je Lebensphase und damit die Identifikation konkreter Zielkorridore für ressourceneffizientes Bauen. Hier besteht akuter Forschungsbedarf.

Für Wohngebäude in Massivbauweise ist die Angabe einer temporären Zielvision auf Grundlage der vorliegenden Analyse dennoch möglich. Während die Hot Spot-Analyse sich auf den Gebäudebestand und ausgewählte Wohnbauten in Massivbauweise bezieht, können Einsparpotenziale nur dort verortet werden, wo entweder neu gebaut oder saniert wird.

Ende 2004 betrug der Wohnungsbestand in Deutschland 39.363.000 Wohnungen und Nichtwohngebäude (ohne Wohnheime).⁴⁷ Die Zahl der Baufertigstellungen im gleichen Jahr blieb unter 1% des Wohnungsbestandes ebenso wie die Zahl neu erteilter Baugenehmigungen.⁴⁸ Der große Gebäudebestand und das geringe Neubauvolumen zeigen, dass ein Großteil zu erwartender Ressourceneinsparungen nicht im Rahmen von Neubau- sondern von Sanierungsprojekten liegen wird. Der Neubau ist aber insofern nicht irrelevant, da auch hier, auf das Einzelobjekt bezogen, große Potenziale zu erschließen sind, die aber auf der volkswirtschaftlichen Ebene eine deutlich untergeordnetere Dimension darstellen als die Potenziale der Sanierung/Modernisierung des Gebäudebestandes.

Aber auch bei der Betrachtung des Gebäudebestandes sind gerade lebenszyklusweite Betrachtungen besonders sinnvoll, um nicht in der Gewinnungsphase von Dämmstoffen für die Gebäudehülle die zu erwartenden Heizenergie-Einsparungen vorab zu kompensieren.

Folgende Einsparpotenziale können erwartet werden:

⁴⁷ Vgl. DeStatis 2005.

⁴⁸ Vgl. DeStatis 2005.

Abb. 8: Überschlägige Abschätzung der Einsparpotenziale zur Wohnraumbereitstellung und -instandhaltung (bezogen auf Massivbauten)

| | Neubau massiv | Altbau massiv (saniert) |
|---|---|--|
| Erstellung (3.000-6.000 kg/m ² , im Regelfall ca. 5.000 kg/m ²) | -1.500 kg/m ² gegenüber dem jetzigen Stand Neue Anforderung an die Neubauerstellung: 3.500 kg/m ² (inkl. Vorketten der eingesetzten Baustoffe) | Bestandsnutzung ca. 80% der Gebäudemasse: -4.000 kg/m ² gegenüber heutiger Neubauerstellung Neue Anforderung: 1.000 kg/m ² (Grundsanierung) |
| Nutzungsphase (Ohne Heizenergiebedarf jetzt 1.500-3.000 kg/m ² , i.d.R. eher 2.500 kg/m ²) | -1.000 kg/m ² Neue Anforderung: 1.500 kg/m ² | -1.000 kg/m ² Neue Anforderung: 1.500 kg/m ² |
| Summe: (ohne Entsorgung) | -2.500 kg/m ² | -5.000 kg/m ² |
| Bezogen auf die Neubau- bzw. Sanierungsquote/Jahr: (ca. 278.000 Wohnungen, bei 85,6 m ² pro Wohnung) ⁴⁹ | 59,492 Mio. t | 118,98 Mio. t |

Bei der Sanierung von Wohngebäuden können über die Nutzung des Gebäudebestandes ca. 80% der Erstellungsaufwendungen⁵⁰ eingespart werden. Nimmt man Bezug auf die Sanierungs- und Neubauraten der Vergangenheit, können die durch planungsbegleitende Ressourceneffizienzanalysen erreichbaren Einsparungen mit ca. 59,49 Mio. t im Neubau bzw. 118,98 Mio. t im Altbau beziffert werden.⁵¹

Bei im Regelfall 5.000 kg an abiotischen Materialströmen zur Bereitstellung von 1m² Wohnfläche (in einem Massivgebäude) in der Erstellungsphase entspräche dies einer Ressourcenersparnis von ca. 4.000 kg/m² gegenüber einem Materialeinsparpotenzial durch ressourceneffizienten Neubau von nur 1.500 kg/m².

⁴⁹ Vgl. DeStatis, http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de_jb08_jahrtab31.asp. (Stand: 10.10.2006) Eine Aufsplittung in Neubau und Sanierung ist aufgrund der Datengrundlage hier nicht möglich.

⁵⁰ Über die Einsparung von ca. 70% der Gebäudemasse durch Bestandsnutzung (Anteil der innerhalb von 100 Jahren keinem Erneuerungszyklus unterliegt).

⁵¹ Die angegebenen Einsparungen beziehen sich auf jeweils 100% der Wohnraumbereitstellung über Neubau bzw. Altbausanierung.

Für frisch sanierte Altbauten sind ähnliche Instandhaltungszyklen zu erwarten wie für Neubauten. Hier können die Einsparmöglichkeiten durch kluge Materialwahl um ca. 1.000 kg/m² gegenüber dem heute üblichen Durchschnitt geschätzt werden.

Auch durch die Wahl alternativer Heizenergieträger könnten immense Einsparpotenziale erschlossen werden. Würden z.B. alle Wohneinheiten bei gleich bleibendem Heizwärmebedarf von 150 kWh/m²*a mit Erdgas beheizt, entspräche dies einem theoretischen⁵² Einsparpotenzial von 267 Mio. t abiotischem Material (d.h. entspräche einer Verringerung der heutigen Naturinanspruchnahme um den Faktor 6) und 2.607 Mio. t Wasser pro Jahr. Der Luftbedarf würde indes gegenüber dem heutigen Stand steigen (um ca. 8 Mio. t). Ohne die Einsparmöglichkeiten in der Rückbau- bzw. Entsorgungsphase einzubeziehen, können so Einsparpotenziale von 2.500 kg/m² bei Neubauten in Massivbauweise bzw. 5.000 kg/m² durch die Sanierung von Altbauten abgeschätzt werden.

Um im Rahmen von Wertschöpfungskettenanalysen gewonnene Werte auf die Ebene von Sektoren oder Volkswirtschaften zu übertragen, werden diese gewöhnlich anhand von statistischen Werten extrapoliert. Für die Wertschöpfungskette Wohngebäude könnte nun der Gebäudebestand zu Grunde gelegt und ein theoretisches Effizienzpotenzial bestimmt werden. Dies ist jedoch insofern nur begrenzt sinnvoll, als dass realisierbare Effizienzpotenziale vorwiegend im Rahmen von Neubau und Sanierung erschlossen werden können.

Die zuvor skizzierten Einsparpotenziale können durch politische Anreizprogramme zu verstärkter Sanierung noch vergrößert werden (im Vergleich zum Neubau). Mit der Novelle der deutschen Energieeinsparverordnung und der darin zu erwartenden Umsetzung des Gebäudeenergiepasses, ist ein Ansteigen der Sanierungsrate zu erwarten. Dieser Anstieg könnte in Verbindung mit lebenszyklusorientierter Bauplanung eine Chance für erhöhte Ressourceneffizienz im Bausektor bedeuten.

4.2 Bedarfsfeld Ernährung – Beispiel Frischkäse

4.2.1 Lebenszyklus Frischkäse

Eine vollständige Betrachtung der „Frischkäse-Kette“ startet notwendigerweise bei der Haltung der Kühe. Sie spannt sich weiter über die Milchgewinnung und -verarbeitung, der Verteilung der Frischkäseerzeugnisse bis hin zum Konsum und der Entsorgung der Produkte. In der Frischkäseherstellung hat Milch z.B. einen Rohstoffanteil von 99%.⁵³ Die jeweiligen Transportprozesse sind nicht einzeln aufgeführt, werden aber in die jeweils folgende Lebenszyklusphase integriert. Weitere Aspekte wie

⁵² Auch wenn für die Distribution von Fernwärme nach Wuppertal Institut 1999 hohe Massenströme verursacht werden, lässt sich daraus nicht die Forderung an die Politik ableiten, Fernwärme durch Erdgas zu ersetzen – insofern handelt es sich bei den aufgezeigten Einsparpotenzialen um lediglich theoretisch mögliche Größen und nicht um Zielwerte.

⁵³ Vgl. Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung 1997, S. 40.

Maschinen in der landwirtschaftlichen Produktion bzw. Verpackungsmaterialien liegen außerhalb der betrachteten Systemgrenzen. Gleiches gilt für die der Futtergewinnung vorgelagerten Ketten. Beispielsweise sind Futtermittel in der Betrachtung inbegriffen, die Düngemittel zur Herstellung des Futters jedoch nicht. Des Weiteren bezieht sich diese Analyse ausschließlich auf Kuhmilch, d.h. Milch von Schafen oder Ziegen wird nicht berücksichtigt.

Analog zum Produktbeispiel „Wohngebäude“ im Bedarfsfeld „Wohnen“ werden im Folgenden Ergebnisse wissenschaftlicher Studien aufgelistet (untergliedert in die Lebenszyklusphasen) sowie deren Relevanz für die Ressourcenkategorien abiotische Ressourcen (A), biotische Ressourcen (B), Wasser (W) und Energie (E) hervorgehoben.

4.2.1.1 Rohstoff

Wie bereits erwähnt ist der wichtigste Rohstoff für die Herstellung von Frischkäse die Milch. Weitere direkte Rohstoffe, die das fertige Frischkäseprodukt bestimmen, sind die in geringen Maßen benötigten Zutaten wie Milchsäurebakterien (bzw. Lab) sowie Salz, Kräuter, Obst oder ähnliches. Aufgrund ihrer geringen Relevanz werden diese Inhaltsstoffe nicht näher betrachtet. Der Energiebedarf für die Herstellung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln als Vorprodukt der Futtermittelproduktion liegt außerhalb der definierten Systemgrenzen und spielt daher hier nur eine untergeordnete Rolle. Der höchste Ressourcenverbrauch ergibt sich für die Kategorien biotische Materialien und Wasser.

| Ergebnis | Relevanz |
|---|------------|
| Der wichtigste Rohstoff für die Herstellung von Frischkäse ist Milch. Die Materialintensitätswerte für Rohmilch belaufen sich auf: 0,15 kg/kg abiotischer Materialien; 2,75 kg/kg biotischer Ressourcen; 4,68 kg/kg Wasser sowie 14,35 kg/kg Erosion (Wuppertal Institut MIPS Datenbank nach Malik, P. 1998). | A, B, W, E |
| Der wesentlichste Energieverbrauch im „Lebenszyklus Milch“ findet während der Produktion von Düngemitteln und Viehfutter statt (Sevenskmjöl (Swedish Dairy Association) n.d., S.11 & Høgaas Eide 2002, S. 119). Zudem wird Energie für das Melken und die Lagerung (Kühlung) der Milch(produkte) verwendet. Aufgrund der angesetzten Systemgrenzen wird der Energieverbrauch für die Düngemittel- und Futterproduktion hier nicht berücksichtigt. | E |

4.2.1.2 Verarbeitung

Die Phase der Verarbeitung umfasst den Transport der Milch, die Filterung und Pasteurisierung in der Verarbeitungsanlage sowie die Zugabe von weiteren Zutaten (Obst, Kräuter etc.) beim fertigen Frischkäse. Die Auswertung relevanter Studien ergab eine hohe Relevanz für die Kategorie biotische Materialien, da die Milch der mit Abstand wichtigste Rohstoff bei der Verarbeitung ist. Mittlere Relevanz wurde für die Ressourcenkategorien Energie und Wasser ermittelt.

| Ergebnis | Relevanz |
|---|----------|
| Der Verarbeitungsprozess von Milchprodukten ist im Vergleich zu anderen Aktivitäten der Nahrungsmittelindustrie nur (mittel)mäßig energieintensiv (Confederation of the Food and Drink Industry of the EU (CIAA) 2002, S. 29). Typische Energieverbräuche für Prozesse der Milchverarbeitung liegen bei 0,5 bis 1,2 MJ/kg eingesetzter Milch (COWI Consulting Engineers and Planners AS 2000, S. vi). | E |
| Eine von Kraft Jacobs Suchard (KJS) durchgeführte Studie über Philadelphia Frischkäse kam zu dem Schluss, dass der Hauptanteil an fossilem Primärenergiebedarf für die Produktion außerhalb von KJS benötigt wurde (Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung 1997, S. 5). | E |
| Laut einer Umwelterklärung der Bergader Privatkäserei ist der Energieverbrauch einer der wichtigsten Aspekte dieser Lebenszyklusphase (Bergader Privatkäserei 2001). | E |
| In Bezug auf den Wasserverbrauch ist die Milchproduktherstellung vergleichsweise wasserintensiv, da besonders viel zu Reinigungszwecken benötigt wird, um hohe hygienische Standards zu gewährleisten. Bei einigermaßen effizient arbeitenden Prozessen wird ein Verbrauch von 1,3 bis 2,5 Litern Wasser pro kg eingesetzter Milch erwartet. Allerdings ist es auch möglich, diesen Wert auf 0,8 bis 1,0 Liter Wasser pro kg eingesetzter Milch zu reduzieren (COWI Consulting Engineers and Planners AS 2000, S. v). | W |
| Während der Verarbeitung entsteht ebenfalls Abfall (bzw. Nebenprodukte). Nach einer Studie des Fraunhofer Instituts betragen die durchschnittlichen Rohstoffverluste im Herstellungsprozess von Frischkäse weniger als 2% (Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung 1997, S. 40). Aus diesem Grund wird Abfall in dieser Phase nicht als relevanter Aspekt eingestuft, zumal er teilweise als Nebenprodukt weiter verwendet werden kann (z.B. als Tierfutter). | B |
| Der in der Nutzungsphase vom Umweltbundesamt identifizierte Verpackungsaspekt fällt als Ressourcenverbrauch in der Produktionsphase an. Dies hat eine Relevanz für den Verbrauch an abiotischen Materialien. Da allerdings keine vorgelagerten Ketten betrachtet werden, wird dieser insgesamt als gering eingestuft (Umweltbundesamt 2002). | A |

4.2.1.3 Nutzung

In dieser Phase werden der Transport des Frischkäses zum Händler bis weiter zum Verbraucher sowie die eigentliche Nutzung betrachtet. Der eigentlichen Nutzung von Frischkäse, sprich dem Verbrauch durch den Endkunden, sind keine signifikanten Umweltauswirkungen zuzuordnen. Als bedeutendste Ressourcenkategorie in dieser Phase ergibt sich der Energieverbrauch, insgesamt wird ihm hier nur eine mittlere Relevanz beigemessen, da die Kühlkette ab Supermarkt nur anteilig dem Frischkäse zugerechnet werden kann (Im Kühlregal und Kühlschrank werden noch weitere Produkte gelagert).

| Ergebnis | Relevanz |
|--|----------|
| Ein besonderer Faktor ist hier die kontinuierlich benötigte Kühlenergie, deren Bedarf jedoch beträchtlich schwanken kann (Dutilh and Kramer 2000). | E |
| Verschiedene Ökobilanzen (Bernhard und Moos 1998, S. 21 & Sevenskmjolk (Swedish Dairy Association) n.d., S. 11) kommen zu dem Schluss, dass der Energieverbrauch durch den Transport in dieser Phase bedeutsam ist, jedoch im Vergleich zu anderen Lebenszyklusphasen (insbesondere der landwirtschaftlichen Produktion) nur eine untergeordnete Rolle spielt. | E |
| Nichtsdestotrotz betrachtet das Umweltbundesamt die durch den Transport hervorgerufenen Emissionen sowie das Verpackungsaufkommen als relevante Aspekte in dieser Phase (Umweltbundesamt 2002). Die Emissionen weisen auf die Relevanz der Kategorie Energie hin; Verpackungen sind in dieser Phase mit keinem zusätzlichen Ressourcenverbrauch verbunden und werden daher nicht berücksichtigt. | E |
| Im Hinblick auf die Transportwege des Konsumenten kommt eine Studie in Ungarn zu dem Schluss, dass pro Haushalt und Jahr rund 300 bis 500 km mit dem Auto für den Lebensmitteleinkauf gefahren werden (Massari, 2002 S. 19). | E |
| Eine andere Ökobilanz kommt ebenfalls zu dem Schluss, dass der Transport des Produktes mit dem Auto eine hervorgehobene Rolle spielt (Diers, Langowski 1999, S. 173). Der Verbrauch an Wasser wird eher untergeordnet betrachtet. | E |

4.2.1.4 Entsorgung

In der Entsorgungsphase spielt die anfallende Produktverpackung eine wichtige Rolle. Die Relevanz dieses Aspektes ist in Deutschland vermutlich nur gering, da Verpackungsmaterialien hier über den grünen Punkt einer gesonderten Aufbereitung zugeführt werden. Allerdings wird der mit dem Recycling verbundene Ressourcenverbrauch (Energie, (Ab-)Wasser, Emissionen) in diesem Fall nicht betrachtet, da die mit den Verpackungen verbundenen Aufwendungen – wie anfangs erwähnt – außerhalb der Systemgrenzen liegen. Nicht betrachtet wird ferner die Entsorgung von Teilmengen des Produktes, die nicht der eigentlichen Verwendung (Verzehr) zugeführt wurden.

4.2.2 Zusammenfassende Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen

Im Folgenden wird nun eine zusammenfassende Bewertung des Ressourcenverbrauchs zunächst innerhalb jeder Lebenszyklusphase in hoch (3), mittel (2) und niedrig (1) vorgenommen.

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---|-----------------|---------------------|----------------|-------------------|
| Abiotische Materialien | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Biotische Materialien | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Wasser | 3 | 2 | 1 | 1 |
| Energie | 2 | 2 | 2 | 1 |

Die so vorgenommene Einteilung ist allerdings noch unvollständig, wird doch die Bewertung nur relativ innerhalb einer Phase vorgenommen. Um ein vollständiges Bild zu erhalten, sollte zudem noch die Relevanz der jeweiligen Phasen zueinander Berücksichtigung finden.

4.2.3 Lebenszyklusweite Betrachtung

Aufgrund der oben erwähnten Ausführungen und mehrerer Studien (Høgaas Eide 2002, S. 115 & sevenskmjolk (Swedish Dairy Association) n.d., S. 4) lässt sich schlussfolgern, dass die **landwirtschaftliche Produktionsphase** die für die Frischkäseherstellung bedeutendste, weil im Ressourcenverbrauch intensivste, Lebenszyklusphase ist. Von weiterer Relevanz sind die **Verarbeitungs-** sowie **Nutzungsphase**, wobei die Reihenfolge – je nach Betrachtungsweise – hier unterschiedlich sein kann. Milch bzw. Frischkäse als schnell verderbliche Waren müssen von der Rohstoffgewinnung bis zur Nutzung gekühlt werden, was Energie zu einer während dieser Lebenszyklusphasen relevanten Kategorie macht.

Zur Bewertung der lebenszyklusweiten Relevanz der einzelnen Phasen für den gesamten Ressourcenverbrauch wird wieder zwischen den „nicht-energetischen Ressourcen“ (d.h. abiotische, biotische Materialien, Wasser) und „Energie“ unterschieden (s. Kap. 2.6):

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---|-----------------|---------------------|----------------|-------------------|
| Nicht-energetisch | 3 | 2 | 1 | 1 |
| Energie | 2 | 3 | 2 | 1 |

Hierbei ergeben sich erneut die Rohstoff- und Verarbeitungsphase als besonders relevante Prozesse innerhalb der Wertschöpfungskette.

Um ein vollständiges Bild für den Ressourcenverbrauch zu bekommen, werden nun beide Gewichtungen durch eine einfache Multiplikation der relativen mit der lebenszyklusweiten Relevanz verrechnet:

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---|-----------------|---------------------|----------------|-------------------|
| Abiotische Materialien | 3 | 2 | 1 | 1 |
| Biotische Materialien | 9 | 6 | 1 | 1 |
| Wasser | 9 | 4 | 1 | 1 |
| Energie | 4 | 6 | 4 | 1 |

Als **Hot Spots** ergeben sich in der Rohstoffphase der Verbrauch an biotischen Materialien und Wasser sowie erneut biotische Materialien sowie Energienutzung in der Verarbeitungsphase. Der hohe Energieverbrauch ist vor allem auf die kontinuierlich aufrecht zu erhaltende Kühlkette zurückzuführen, welche für die ersten drei Lebenszyklusphasen Relevanz hat. Die biotischen Materialien sind auf den Futterverbrauch in der Rohstoffphase sowie den hohen Anteil an Milch im finalen Produkt zurückzuführen.

4.3 Bedarfsfeld Ernährung – Beispiel Kaffee

4.3.1 Relevanz des Produkts

Kaffee wurde als zweites Produktbeispiel im Bedarfsfeld Ernährung ausgesucht, weil es eine gute Kommunikationsfähigkeit der Ergebnisse zu einer breiten Öffentlichkeit verspricht. Im Bereich der Lebensmittel ist Kaffee eines der Produkte mit dem höchsten Anteil „fair gehandelter“ Produkte, was für eine erhöhte Aufmerksamkeit der Verbraucher spricht. Ferner ist der Konsum von Kaffee eng an Lebensgewohnheiten und Trends gebunden (Life-Style), so dass eine enge Kopplung an den Diskurs um nachhaltigen Konsum möglich ist. Erkenntnisse zu weiteren Lebensmittelprodukten sind in Kapitel 4.4 dargestellt.

4.3.2 Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen

Die betrachtete „Kaffee-Kette“ spannt sich vom Kaffeeanbau, über Verarbeitung und Logistik und die Konsumphase bis hin zur Entsorgung des Produktes. Entsprechend der Systemgrenzen der Methodik werden die Ressourcenaufwendungen zur Herstellung von Verpackungen, Marketingmaterialien usw. ebenso wie für Produktionsanlagen, Transportfahrzeuge und Maschinen nicht berücksichtigt. Transport- und Logistikprozesse sind nicht als einzelne Phasen aufgeführt; die mit dem Transport (nicht der Herstellung!) assoziierten Ressourcenverbräuche werden der jeweils nächsten Lebenszyklusphase zugerechnet. Bspw. wird der Transport der Kaffeebohnen zu den Verarbeitungsanlagen dem Verarbeitungsschritt, der des fertigen Produktes zum

(Groß-)händler bzw. Konsumenten der Nutzenphase zugeschrieben. Im Folgenden eine Auflistung wichtiger Studien für die Bewertung der Relevanz in den einzelnen Ressourcenkategorien.

4.3.2.1 Rohstoff

Der Energieverbrauch, hervorgerufen durch den Einsatz von Agrochemikalien sowie ggf. der Trocknung der Bohnen, stellt sich als relevanteste Kategorie der Rohstoffgewinnungsphase dar, gefolgt vom Verbrauch an abiotischen Rohstoffen und Wasser. Im Gegensatz zum Frischkäsebeispiel, sind hier die Agrochemikalien als direkte Vorprodukte der Produktion von Kaffee anzusehen, und befinden sich daher innerhalb der Systemgrenzen.

| Ergebnis | Relevanz |
|---|----------|
| Traditionell wurde Kaffee in gemischten Kulturen im Schatten- oder Halbschattenanbau gepflanzt. In den vergangenen Jahrzehnten wurde aber vermehrt zu intensiveren Monokultursystemen übergegangen, die unter stärkerem Einsatz von Agrochemikalien (Dünger, Pflanzenschutzmittel) auch zu höheren Erträgen führen (WRI/UNDP 1998; Rice and McLean 1999, S. 21). | A |
| Insbesondere die Herstellung von Kunstdüngern ist sehr Energie- und Rohstoffintensiv. So beziffert eine Studie aus Costa Rica den mit der Herstellung der verwendeten Dünger verbundenen Energieaufwand mit 69% des Gesamtaufwandes für die Kaffeeproduktion (Lindsey-Wolcott 1999). Je nach eingesetztem Verfahren können zusätzliche Energieverbräuche aus der Trocknung resultieren. | A, E |
| Die Kaffeebäume sind im tropischen und subtropischen Klima häufiger Schädlingen und Krankheiten ausgesetzt als Pflanzen in gemäßigtem Klima (Deutscher Kaffeeverband 2005) und bedürfen damit eines intensiven Pflanzenschutzes. | A, E |
| Kaffee-Monokulturen benötigen zudem z.T. Bewässerungssysteme (Commission for Environmental Cooperation 1999, S. 3). | W |
| Wird in der Kaffeeverarbeitung das nasse Aufbereitungsverfahren gewählt, so werden hohe Mengen an vorzugsweise reinem Quellwasser verbraucht (40.000 bis 70.000 l/t Rohkaffee nach EDE 2001, S. 11; 130.000 – 150.000 l/t nach Deutscher Kaffeeverband 2005). | W |
| Im Vergleich zu den Schattenanbausystemen ist die Degradierung der Böden unter Monokulturen deutlich höher. Studien in Zentralamerika zeigen, dass die Boden- und Nährstoffverluste beim Umstieg auf Monokulturen deutlich zunehmen (EDE 2001, S. 5). | A |
| | |

4.3.2.2 Verarbeitung

Die Phase der Verarbeitung umfasst den Transport der Bohnen zum Röster, sowie die mit dem Rösten verbundenen Schritte. Aus dem Blickwinkel des Ressourcenverbrauchs ist die Verwendung der Kaffeebohnen selbst am relevantesten, gefolgt von Energieverbrauch.

| Ergebnis | Relevanz |
|---|----------|
| Die Kaffeebohnen sind der mit Abstand wichtigste Rohstoff in dieser Lebenszyklusphase, da das finale Produkt hauptsächlich aus gemahlenden Kaffeebohnen besteht. | B |
| Der Transport selbst ist mit relativ geringem Energieverbrauch verbunden, da Kaffee als Massenware vornehmlich mit Schiffen transportiert wird (Wolters 2001). | E |
| Der Röstprozess selbst ist sowohl mit Wasser- als auch mit Energieverbrauch verbunden, die allerdings insgesamt als nicht sonderlich hoch eingeschätzt werden (Diers, Langowski 1999, S. 173). | W, E |
| Der Energieaufwand steigt deutlich, wenn anstatt Kaffeepulver Instant-Kaffee betrachtet wird. Bei einem Vergleich des Energieaufwands für unterschiedliche Lebensmittel erreicht Instant-Kaffee mit 18.948 kcal/kg den ersten Rang (Pagan and Lake 1999). | E |

4.3.2.3 Nutzung

Die Nutzenphase beginnt mit dem Transport des Kaffees von der Verarbeitung über den Händler bis zum Verbraucher. Wichtigste Ressourcenverbräuche sind hier die mit dem Transport und der Lagerung verbundenen Energieverbräuche.

| Ergebnis | Relevanz |
|--|----------|
| Wichtigste Ressourcenverbräuche sind hier die mit dem Transport und der Lagerung verbundenen Energieverbräuche (Diers, Langowski 1999). | E |
| Im Hinblick auf die Transportwege des Konsumenten kommt eine Studie in Ungarn zu dem Schluss, dass pro Haushalt und Jahr rund 300 bis 500 km mit dem Auto für den Lebensmitteleinkauf gefahren werden (Massari, 2002 S. 19). | E |
| Der Energieaufwand zur Zubereitung des Kaffees ist der Haupteinfluss während der eigentlichen „Nutzenphase“ (Wolters 2001). Zum gleichen Schluss kommt auch eine Ökobilanz über Röstkaffee, die zusätzlich noch den Transport des Produktes mit dem Auto hervorhebt (Diers, Langowski 1999, S. 173). Der Verbrauch an Wasser spielt nur eine untergeordnete Rolle. | E |

4.3.2.4 Entsorgung

Bezüglich der Entsorgungsphase kommt die bereits erwähnte Ökobilanz zu dem Schluss, dass Filter und Kaffeesatz relevanter als die eigentliche Produktverpackung sind (Diers, Langowski 1999, S. 173). Sowohl Verpackung, als auch der Filter sind nicht Bestandteil der hier vorgenommenen Betrachtung. Auch wird der mit der Entsorgung des Kaffeesatzes verbundene Ressourcenverbrauch als gering erachtet.

4.3.3 Zusammenfassende Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen

Im Folgenden wird nun eine zusammenfassende Bewertung der Ressourcenverbräuche zunächst innerhalb jeder Lebenszyklusphase in hoch (3), mittel (2) und niedrig (1) vorgenommen:

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---------------------------|----------|--------------|---------|------------|
| Abiotische Materialien | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Biotische Materialien | 1 | 3 | 1 | 1 |
| Wasser | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Energie | 3 | 2 | 3 | 1 |

Die so vorgenommene Einteilung ist noch unvollständig, wird doch die Bewertung nur relativ innerhalb einer Phase vorgenommen. Um ein vollständiges Bild zu erhalten, sollte zudem noch die Relevanz der jeweiligen Phasen zueinander Berücksichtigung finden.

4.3.4 Lebenszyklusweite Betrachtung

Zur Bewertung der Relevanz einzelner Lebenszyklusphasen zueinander werden Ergebnisse von Ökobilanzierungen und ähnlichen, den gesamten Lebenszyklus betrachtenden Studien, herangezogen. Basierend auf den Studien von Wolters (2001) und Diers, Langowski (1999) kann geschlussfolgert werden, dass die **Rohstoffphase** für die Kaffeekette die mit Abstand wichtigste Lebenszyklusphase sowohl für die energetischen als auch die nicht-energetischen Ressourcen darstellt. Mit Abstand folgt die **Verarbeitungsphase** gefolgt von der Nutzung und der Entsorgung.

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---------------------------|----------|--------------|---------|------------|
| Nicht-energetisch | 3 | 2 | 1 | 1 |
| Energie | 3 | 2 | 2 | 1 |

Um ein vollständiges Bild für die Ressourcenverbräuche zu bekommen, werden nun beide Gewichtungen durch eine einfache Multiplikation der relativen mit der lebenszyklusweiten Relevanz verrechnet.

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---------------------------|----------|--------------|---------|------------|
| Abiotische Materialien | 6 | 2 | 1 | 1 |
| Biotische Materialien | 3 | 6 | 1 | 1 |
| Wasser | 6 | 2 | 2 | 1 |
| Energie | 9 | 4 | 6 | 1 |

Als **Hot Spots** ergeben sich die Verbräuche an abiotischen Materialien, Wasser und Energie in der Rohstoffphase; die Verwendung von biotischen Materialien in der Verarbeitung sowie der Energieverbrauch in der Nutzungsphase.

4.4 Weitere Lebensmittelprodukte und Übertragbarkeit auf andere Produkte im Lebensmittelsektor

Die im Vergleich zu den anderen Lebenszyklusphasen herausgehobene Bedeutung der Rohstoffphase wird von einer Vielzahl an Studien im Bereich der Lebensmittel bestätigt. Talve (2001) bestätigt dies in einer Ökobilanz für Bier, Høgaas Eide (2002) und Sevenskmjolk (n.d.) für Milch und Moller, Vold, et al. (1996) und Carlsson-Kanyama, Pipping Ekström, et al. (2001) für Fleisch. Von zweithöchster Priorität wird danach in der Mehrzahl der Fälle die Nutzenphase genannt, insbesondere, wenn die Lagerung und Zubereitung der Lebensmittel mit hohem Energieaufwand verbunden ist (kochen, kühlen oder tiefkühlen).

Innerhalb der Rohstoffphase ist auffällig, dass Lebensmittel die auf tierischen Produkten basieren grundsätzlich mit deutlich höherem Ressourcenverbrauch verbunden sind, als dies bei rein pflanzlichen Lebensmitteln der Fall ist. Zudem zeichnen sich Lebensmittel, die mit einem hohem Verarbeitungsaufwand (kühlen, kochen, backen, erhitzen, pulverisieren (z.B. Milchpulver)) hergestellt werden, durch einen hohen Energieverbrauch in der Herstellung bzw. Nutzung aus. Bei verderblichen und (tief-)gekühlten Lebensmitteln ist zudem die Kühlkette durchgängig aufrecht zu erhalten, was zu einem zusätzlichen Energieaufwand führt (Dutilh, Kramer 2000).

Grundsätzlich zeichnet sich für den Lebensmittelsektor die Rohstoff-, gefolgt von der Nutzungsphase, als im Hinblick auf den Energie- und Ressourcenverbrauch relevanteste Lebenszyklusphasen ab. Ferner sind insbesondere in der Rohstoffphase tierische Lebensmittel mit signifikant höherem Verbrauch verbunden. Diese grundsätzliche Priorisierung scheint sowohl für global als auch für regional erzeugte Rohstoffe zu gelten. Die Zuordnung einer geringen Relevanz abiotischer Ressourcenverbräuche in der Rohstoffphase des Produktbeispiels Frischkäse ist an den gezogenen Systemgrenzen zu begründen.

Weitere entscheidende Einflussfaktoren sind der Kühlungsbedarf, da dieser ggf. entlang der gesamten Kette aufrecht gehalten werden muss. In der Nutzenphase hat die Haltbarkeit bzw. die Portionsgröße einen entscheidenden Einfluss. Bei zu groß portionierten Einheiten bzw. nicht lagerbaren Lebensmitteln tendiert der Konsument dazu Lebensmittel zu entsorgen. In Anbetracht des mit der Herstellung verbundenen Ressourcen- und Energieaufwands stellt dies einen signifikanten Ressourcenverbrauch dar. Ein weiterer signifikanter Punkt in der Nutzenphase ist der mit dem Erwärmen (kochen, backen usw.) verbundene Energieverbrauch.

4.5 Bedarfsfeld Kommunikation und Informationsverarbeitung – Beispiel PC

4.5.1 Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen

Ähnlich wie für die zuvor betrachteten Produkte, beginnt der Lebenszyklus des PCs mit der Gewinnung von Rohstoffen. In den komplexen Bauteilen eines PCs kommen eine Vielzahl an Materialien und Rohstoffen zum Einsatz. Die Verarbeitungsphase umfasst sowohl die Herstellung einzelner Komponenten als auch den Zusammenbau des kompletten Produktes inklusive Bildschirm.

Für das Produkt PC wurden relativ viele lebenszyklusweite Betrachtungen gefunden, die in Kapitel 0 zusammenfassend dargestellt sind. Die Erkenntnisse dieser Studien wurden z.T. auch für die Bewertung innerhalb der Lebenszyklusphasen herangezogen und sind dort entsprechend markiert. Zur Vermeidung von Doppelnennungen werden diese in der Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen aber nicht gesondert aufgeführt.

4.5.1.1 Rohstoff

Bei dem Produkt PC ist die Rohstoffgewinnungsphase am relevantesten. Besonders hervorzuheben ist hierbei der Verbrauch an abiotischen Materialien.

| Ergebnis | Relevanz |
|---|-----------------|
| Führt man sich vor Augen, welche Vielzahl an Chemikalien, Stoffen und auch Edelmetallen bei der Herstellung von PCs zur Anwendung kommen, so zeigt ein Blick in die Materialintensitätsdaten verschiedener Stoffe, Materialien und Transportdienstleistungen, mit welcher bedeutsamen Materialintensitäten diese in der Gewinnung und Herstellung verbunden sind (Wuppertal Institut 2003). | A |
| Eine Ökobilanz für einen PC aus dem Jahr 1998 kommt zu dem Schluss, dass im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch die Rohstoffgewinnungsphase am relevantesten sei (Atlantic Consulting 1998). Mit der Rohstoffgewinnung sind zudem signifikante Energieverbräuche verbunden. | A, E |

4.5.1.2 Verarbeitung

Neben dem zusätzlichen Verbrauch von abiotischen Materialien in der Verarbeitungsphase wird insbesondere eine hohe Menge an Wasser und Energie für die Herstellung eines PCs verwendet.

| Ergebnis | Relevanz |
|---|----------|
| Die Herstellung eines heutigen PCs verbraucht, schließt man die mit der Rohstoffgewinnung und Verarbeitung verbundenen Materialflüsse mit ein, etwa 0,5 bis 1,5 t an primär abiotischen Rohstoffen (Türk 2003, S. 120). | A |
| Bei der Herstellung von Chips und Halbleitern werden 500 bis 1.000 verschiedene Chemikalien verwendet, es werden große Mengen an Wasser und Energie verbraucht und es fallen große Mengen an Abfallstoffen an (Hwang 2002). | A, W, E |

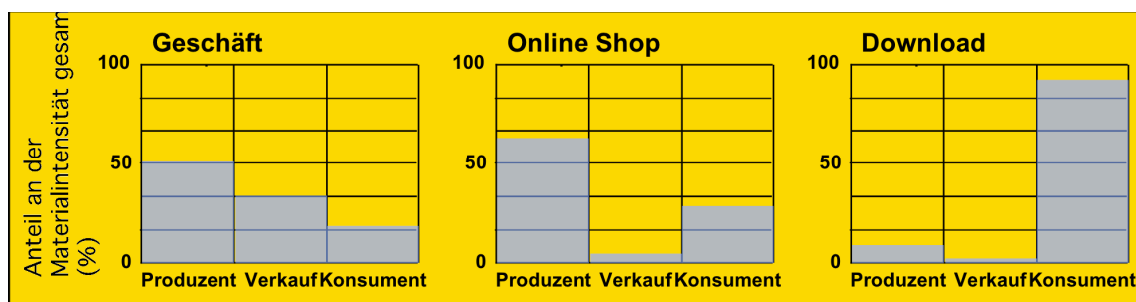
4.5.1.3 Nutzung

Mehrere Studien belegen die Relevanz der Nutzenphase insbesondere im Hinblick auf den Energieverbrauch, sowohl für ganze Netzwerke als auch für Einzelgeräte.

| Ergebnis | Relevanz |
|--|----------|
| Abschätzungen des Stromverbrauchs der Internetinfrastruktur bewegen sich in der Größenordnung von 1 bis 3 Prozent des Gesamtverbrauchs für Deutschland bzw. die USA in den Jahren 2000 bis 2002 (Kooimey et al. 2000; Roth et al. 2002; Barthel et al. 2001 und Türk 2001). Es wird erwartet, dass der prozentuale Anteil in den kommenden Jahren weiter ansteigen wird. | E |
| Betrachtet man den Energieverbrauch der Einzelgeräte, so zeigt sich, dass früher der Monitor der Hauptverbraucher eines PC war, heute jedoch andere Bauteile mehr Energie verbrauchen. So verbrauchen beispielsweise Pentium 4 Prozessoren ca. 65 W, womit sie hinsichtlich ihrer flächen-spezifischen Heizleistung elektrische Herdplatten z.T. deutlich überbieten. | E |
| Ein zusätzlicher Stromverbraucher ist die aktive Kühlung. Hinzu kommt, dass inzwischen separate leistungsfähige Grafikprozessoren einen ähnlichen Energieverbrauch zeigen wie die eigentlichen Hauptprozessoren und selbst einige bisher unkritische Bauelemente wie der Chipsatz aufgrund ihres teilweise hohen Stromverbrauchs bisweilen eine zusätzliche Kühlung benötigen. | E |
| Geht man von einem Stromverbrauch von 100-150 W für ein heutiges PC-System (inkl. Monitor) aus, so summiert sich bei einer Lebensdauer von 3 Jahren der mit dem Stromverbrauch verbundene Verbrauch auf ca. 300 kg abiotische Rohstoffe (Annahme 1h Nutzung/Tag). Bei intensiver Nutzung am Arbeitsplatz kann dieser Verbrauch aber auch leicht auf 1.500 kg steigen (Türk et al. 2003b, S. 118 ff). | A |

Beispielhaft wird die Bedeutung der Nutzenphase für den Gesamtverbrauch insbesondere im Bereich der Informations- und Kommunikationsprodukte in einer Fallstudie zu digitaler Musik aufgezeigt. Verglichen wird hier der lebenszyklusweite Ressourcenverbrauch entsprechend der MIPS-Methode⁵⁴, der mit der Bereitstellung von digitaler Musik verbunden ist. Die Studie unterscheidet die Phasen Produzent (entspricht in der hier vorgenommenen Unterteilung den Phasen Rohstoff und Verarbeitung), Verkauf und Konsument (entsprechen der Nutzungsphase). In Szenario eins wird eine CD „traditionell“ im Geschäft gekauft, Szenario 2 geht davon aus, dass die CD online bestellt wird, während das dritte Szenario das Herunterladen der entsprechenden Dateien aus dem Internet annimmt. Da im dritten Szenario die Produktion der CD samt Hülle komplett wegfällt, spiegeln die Materialintensitäten die der IK Infrastruktur wieder.

Abb. 9: Die Verteilung der Materialaufwendungen über die beteiligten Akteure in unterschiedlichen Geschäftsmodellen



Es zeigt sich, dass mit zunehmender „Digitalisierung“ des Lebenszyklus“ die Bedeutung der Konsumphase zunimmt (Türk et al. 2003a).

4.5.1.4 Entsorgung

Die Entsorgungsphase des Produktbeispiels PC wird mit einer geringen Relevanz bzgl. des Ressourcenverbrauchs gewertet. Nicht berücksichtigt wird eine eventuelle Aufwertung der Gesamtbilanz durch die Möglichkeit des Recyclings und der Wiederverwendung von Materialien.

| Ergebnis | Relevanz |
|---|----------|
| Jährlich werden in Deutschland rund 2,2 Millionen PCs, Drucker und Monitore aus dem Verkehr gezogen (Frankfurter Rundschau 2001). Ca. 1.000 Olympia-Schwimmbecken könnten mit den ausgedienten Computern und Monitoren gefüllt werden, die in Kanada zwischen 1992 und 2000 angefallen sind. Dabei wurden nur ca. 10 Prozent hiervon recycled oder wieder verwendet (CEIA 2002). Das mögliche Recycling der Materialien sowie die Energieaufwendungen in diesem Zusammenhang werden im Rahmen dieser Studie nicht berücksichtigt. | A, E |

⁵⁴ Vgl. Ritthoff et al. 2002.

| | |
|--|---|
| Mit Recycling lässt sich die lebenszyklusweite Energiebilanz von PCs nicht nennenswert aufbessern. Wenngleich Elektronikschrott heute in nennenswertem Umfang recycelt wird, so gewinnt man durch die Rückgewinnung der Metalle sowie eine energetische Nutzung des Kunststoffs nur rund 13% der für die Herstellung aufgewendete Energie zurück (Schischke & Kohlmeyer n.d.). | A |
| Computer enthalten signifikante Mengen an recyclebaren Materialien, wie beispielsweise Metalle, Glas oder Kunststoffe. Die USGS schätzt, dass ein m ³ PC Elektroschrott mehr Gold enthält als 17t goldhaltiges Erz (USGS 2001). | A |

4.5.2 Zusammenfassende Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen

Analog zu den bereits vorgestellten Lebenszyklen erfolgt im Folgenden nun eine zusammenfassende Bewertung der Ressourcenverbräuche zunächst innerhalb jeder Lebenszyklusphase und anschließend über die verschiedenen Phasen hinweg. Dabei ist zu beachten, dass wie bereits oben dargelegt, in diese Bewertung auch die Erkenntnisse der lebenszyklusweiten Studien eingeflossen sind, die im Kapitel 4.5.3 dargestellt sind:

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---|-----------------|---------------------|----------------|-------------------|
| Abiotische Materialien | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Biotische Materialien | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Wasser | 2 | 3 | 1 | 1 |
| Energie | 3 | 3 | 3 | 2 |

Besondere Relevanz haben die Verarbeitungs- und die Rohstoffphase. In der Nutzungsphase spielt insbesondere der Energieverbrauch eine besondere Rolle. Die Entsorgungsphase ist eher von geringer Relevanz.

4.5.3 Lebenszyklusweite Betrachtung

Unter dem Blickwinkel des Ressourcenverbrauchs stechen die Lebenszyklusphasen **Verarbeitung** inkl. der **Rohstoffgewinnung** sowie die **Nutzenphase** (im Hinblick auf Energie) hervor. Für letztere gilt aber einschränkend, dass deren Bedeutung in Abhängigkeit des Nutzungsverhaltens stark variieren kann. Eine Studie der TU Berlin, die den Energieverbrauch entlang des Lebenszyklus eines PCs analysiert, kommt zu dem Schluss, dass bei intensiver Nutzung die Nutzenphase, andernfalls die Herstellung die dominierenden Lebenszyklusphasen sind (Schischke, Kohlmeyer n.d.). Eine trennscharfe Unterscheidung der Intensitäten zwischen Rohstoffgewinnungsphase und Verarbeitung ist auf Grundlage der vorliegenden Daten nicht möglich

| Ergebnis | Relevanz |
|---|---------------------------------|
| Eine Studie zum kumulierten Energieaufwand eines PCs identifiziert bei intensiver Nutzung (4 Jahre, Arbeitsplatzrechner) die Nutzenphase als für 57% der KEA von insgesamt 22,2 GJ verantwortlich; die Herstellung schlägt mit rund 40% zu Buche. Bei privater Nutzung des PCs steigt der Anteil der KEA auf über 50% an (Dreier et al. 2000). | Nutzung E |
| Im Rahmen des Digital Europe Projektes kommt eine Fallstudie in Zusammenarbeit mit HP zu dem Schluss, dass zwischen 66 und 76 % des gesamten (primär abiotischen) Ressourcenverbrauchs eines Handhelds mit der Produktion bzw. den vorgelagerten Ketten verbunden ist. Insbesondere Chips, Leiterplatten, seltene Metalle und der LCD Bildschirm sind dafür verantwortlich. Der Elektrizitätsverbrauch der Nutzenphase schlägt mit 22 bis 32 % zu Buche, wohingegen der Transport sowohl von der Produktionsstätte zum Händler als auch zum Endkonsumenten keinen nennenswerten Einfluss hat (Geibler et al. 2003). | Verarbeitung & Nutzung E, A |
| Eine Materialintensitätsanalyse für ein Handy auf Basis der MIPS-Methodik kommt zu dem Ergebnis, dass bei einer Gesamtmaterialintensität von 75,5 kg (Herstellung sowie Nutzung für 1 Jahr) 30,4 kg auf die Materialien, weitere 15,5 kg auf den Herstellungsprozess und 28,2 kg auf die Nutzenphase entfallen. Der verbleibende Rest von 1,4 kg bezieht sich auf Transport und Logistik (Federico et al. 2001). Die überwiegende Mehrzahl resultiert aus der Verwendung abiotischer Materialien. | Rohstoff & Verarbeitung E, A |
| Williams et al. beziffern die Aufwendungen zur Herstellung und Nutzung eines 2 g schweren 32 MB DRAM Chip auf 1.600 g fossile Brennstoffe, 72 g Chemikalien, 32.000 g Wasser und 700 g N ₂ -Gas (Williams et al. n.d.). Dabei fallen bei einem Gesamtenergieaufwand von 56 MJ pro Chip ca. 8 MJ auf die Vorketten (Chemikalien und Silikon), ca. 33 MJ auf die Herstellung des Chips und 15 MJ auf die Nutzung (4 Jahre, 2 h pro Tag). In diesem Beispiel zeigt sich somit die Herstellungsphase als bedeutender als die Nutzenphase. | Verarbeitung A, E, W |
| Eine Ökobilanz für einen PC aus dem Jahr 1998 kommt zu dem Schluss, dass die Nutzenphase mit den größten Umweltauswirkungen verbunden ist (bezüglich Emissionen, Energieverbrauch und des Aufkommens von Abfallstoffen). Einzig im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch sei die Rohstoffgewinnungsphase relevanter (Atlantic Consulting 1998). | Nutzung A, E |

Die folgende Abbildung fasst die Erkenntnisse der vorgenannten Studien zusammen und stellt die Relevanz der jeweiligen Phasen zueinander dar:

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---------------------------|----------|--------------|---------|------------|
| Nicht-energetisch | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Energie | 3 | 3 | 3 | 1 |

Um ein vollständiges Bild für die Ressourcenverbräuche und daraus resultierender Hot Spots zu gewinnen, erfolgt wieder eine Gewichtung der relativen mit der lebenszyklusweiten Relevanz.

| Lebenszyklus Kategorie | Rohstoff | Verarbeitung | Nutzung | Entsorgung |
|---------------------------|----------|--------------|---------|------------|
| Abiotische Materialien | 9 | 9 | 1 | 1 |
| Biotische Materialien | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Wasser | 6 | 9 | 1 | 1 |
| Energie | 9 | 9 | 9 | 2 |

Als **Hot Spots** ergeben sich insbesondere der Verbrauch an abiotischen Materialien, Wasser und Energie sowohl in der Rohstoff- als auch der Verarbeitungsphase und der hohe Energieverbrauch in der Nutzungsphase.

4.5.4 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Produkte im Bedarfsfeld

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Produkte des Bedarfsfeldes hängt von einer Reihe von Einflussgrößen ab. Dazu zählen:

- Nutzerverhalten;
- Einsatz ressourcenintensiver Materialien;
- Verarbeitungsintensität und der Anteil an Ausschuss in der Produktion;
- Wiederverwendung.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Energieverbrauch in der Nutzenphase von hervorgehobener Bedeutung ist. Der zunehmende Einsatz hochintegrierter Bauteile (z.B. Speicherchips) auch in „einfacheren Produkten“ führt ferner dazu, dass die Verarbeitungsintensität und der Einsatz ressourcenintensiver Materialien im Bereich der Informationsverarbeitung und Kommunikation zunehmen. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die grundsätzliche Gewichtung der Ressourcenintensität für einen Grossteil der Produkte dieses Bedarfsfeldes anwendbar ist. Die Wiederverwendung von Produkten oder einzelnen Bauteilen kann einen positiven Beitrag zur Ressourceneffizienz leisten, da damit die in der Rohstoff- und Herstellungsphase aufgewendeten Ressourcen über einen längeren Nutzungshorizont zur Anwendung kommen. Für Produkte in denen jedoch eindeutig der Energieverbrauch in der Nutzungsphase die größte Bedeutung zukommt, stellt dies, soweit neuere Geräte wesentlich energieeffizienter sind, keine sinnvolle Strategie dar.

4.5.5 Ressourceneffizienz-Potenzialabschätzung von IK-Technologien

Eine Abschätzung der tatsächlichen Ressourceneffizienzpotenziale von IK-Technologien stellt eine große Herausforderung dar, der im Rahmen dieses Papiers nicht umfassend begegnet werden kann. Dennoch sollen im Folgenden, basierend auf einem Beispiel, einige Indikationen für das Ressourceneffizienz-Potenzial gemacht werden. Dabei beziehen sich diese auf Potenziale der Technologie und deren Anwendung selbst, und lassen eine (mögliche) Rolle von IKT in der Steigerung von RE in anderen Anwendungen (IKT als Querschnittstechnologie) unberücksichtigt.

Als Beispiel sollen Daten der Firma Panasonic dienen, die für inzwischen fast 30 verschiedene Produkte Daten zur Klima- und Ressourceneffizienz ihrer Produkte publizieren. Als Beispiel dient der Vergleich eines 36-Zoll Fernsehers aus dem Jahre 1993 und 2004⁵⁵. Laut Panasonic zeichnet sich das 2004er Modell zum Vergleichsmodell durch eine um den Faktor 4,4 höhere Ressourceneffizienz aus. Methodisch unterscheidet sich das Vorgehen von Panasonic allerdings deutlich z.B. von der MIPS-Methodik.

Der Ressourcenfaktor eines Produktes ergibt sich bei Panasonic aus der Multiplikation von Produktlebensdauer mit der „Funktion des Produktes“, dividiert durch die Menge der nicht recycelten Produktanteile (non-circulating resources). In der vorliegenden Berechnung wird so beispielsweise dem neueren Fernseher eine um den Faktor 2,1 höhere Funktionalität zugeschrieben, was den Ressourcenfaktor verdoppelt. Abweichend, beispielsweise zur MIPS Methode, werden auch nur die direkten Stoffströme berücksichtigt, nicht aber deren „Rucksäcke“. Auf Basis der von Panasonic publizierten Zahlen lassen sich aber dennoch einige Tendenzen erkennen.

So hat das Gewicht des Fernsehers innerhalb von gut 10 Jahren um 11,5 kg auf 79,5 kg abgenommen, was rund 90% des Gesamtgewichts des Produktes ausmacht. Der Rest ist fast ausschließlich Verpackung (davon zu 90% Karton). Die Gewichtsreduzierung hat anteilig alle verwendeten Materialien betroffen, mit zwei nennenswerten Ausnahmen. Der Anteil von Glas und Keramik hat sich um fast 10% erhöht und liegt mit jetzt 50,3 kg in etwa in derselben Größenordnung wie beim 1993er Modell mit 49,1 kg. Der Gewichtsanteil elektronischer Bauteile hat sich von 10,5 kg auf 4,5 kg mehr als halbiert und liegt somit im Trend der Miniaturisierung.

Da keine weitergehende Einsicht in die Daten vorliegen, können nur grobe Abschätzungen über die Ressourcenintensität der vorgelagerten Ketten (ökologische Rucksäcke) getroffen werden. Lässt man die Änderung im Bereich von Glas und Keramik unberücksichtigt, so ist der wesentliche Unterschied im Bereich der elektronischen Bauteile zu sehen. Eine Reduzierung um mehr als 60% kann als Anzeichen für eine nennenswerte Effizienzsteigerung angesehen werden. Wie aber bereits schon im Rahmen der Hot Spot-Analyse für IKT Produkte dargelegt, geht eine allgemeine Gewichtsreduzierung elektronischer Bauteile nicht notwendigerweise mit einer analogen Reduzierung der damit verbundenen Rucksäcke einher.

⁵⁵ Panasonic Product Specification TH-36D60. (http://panasonic.net/eco/factor_x/list01.html; 28. Mai 2006).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die materielle Zusammensetzung sich nicht signifikant geändert hat. Auch der Anteil recycelter Stoffe hat sich, abgesehen von einem Anstieg von 0 auf 20% bei Glas und Keramiken, nicht geändert. Eine allgemeine Gewichtsreduzierung um knapp 15% kann dennoch als Indikation für eine gesteigerte Effizienz angesehen werden. Bei entsprechend analogen Verschiebungen der damit verbundenen ökologischen Rucksäcke bei den nicht elektronischen Bauteilen kann eine Effizienzsteigerung von rund 10 bis 20% postuliert werden.

Eine deutlich bessere Bilanz zeigt sich im Bereich der Klimarelevanz, für die Panasonic, berechnet nach einer analogen Formel⁵⁶, für den gleichen Vergleich einen Steigerungsfaktor von 4,7 angibt. Zieht man auch hier wiederum die „Verdopplung“ der Produktionsfunktion ab, so resultiert daraus noch immer eine Verdopplung der Effizienz. Hauptgrund ist hier der deutlich geringere Stromverbrauch während der Nutzenphase. Der Stromverbrauch beläuft sich auf 204 W (1993 410W), was bei einer täglichen Nutzung von 4,5 h/Tag auf einen jährlichen Stromverbrauch von 229 kWh im Vergleich zu 630 kWh führt. Dazu trägt u.a. ein reduzierter Stand-by Verbrauch bei (0,17 W vs. 5 W).

Welche Schlussfolgerungen lassen sich aus dieser ex-ante Betrachtung auf das Ressourceneffizienzpotenzial von IKT Produkten und den mit der Herstellung dieser Produkte betroffenen Sektoren ableiten? Eine systematische Verbesserung der Ressourcenproduktivität bietet, wie das Beispiel Panasonic zeigt, nennenswerte Verbesserungspotenziale. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Mehrzahl der Anbieter von IKT Produkten noch nicht in gleichem Masse mit dieser Thematik beschäftigt hat, so dass ähnliche Potenziale in den betroffenen Sektoren vermutet werden können.

Eine darüber hinausgehende nennenswerte Verbesserung der Ressourcenproduktivität ist allerdings nur zu erwarten, wenn von einer Produktoptimierung zu einer integrierten Betrachtung der damit verbundenen Dienstleistungen (Produkt-Dienstleistungssysteme) übergegangen wird. Ausgehend von diesem Dienstleistungsgedanken würde dies beispielsweise weitere Anreize zur Wiederverwendung einzelner Komponenten und Bauteile oder für den gemeinsamen Nutzen der Produkte (Shared-use) bieten.

⁵⁶ Product life x Product function/GHG emissions

5 Schlussfolgerungen

Mit Hilfe der hier entwickelten und angewendeten (vgl. Kap. 3) Methodik der Hot Spot-Analyse in Produktketten (vgl. Kap. 2.4) wurde ein Werkzeug entwickelt, welches es erlaubt die ressourcenintensivsten Phasen (Rohstoff-, Verarbeitungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase) innerhalb einer Produktkette zu identifizieren. Neben dieser Identifizierung kann auch eine differenzierte Aussage darüber getroffen werden, in welcher „Form“ der Ressourceneinsatz erfolgt. Unterschieden werden dabei natürliche Ressourcen, wie abiotische und biotische Materialien und Wasser, sowie Energie. Diese Unterscheidung ermöglicht es, richtungssichere Schlussfolgerungen für einzelne Produktketten zu treffen und Maßnahmen daraus abzuleiten.

Als Datengrundlage für die Hot Spot-Analyse dienen verfügbare Studien, die in der Regel nur Teil(ressourcen)aspekte und Teilphasen einer Produktkette abbilden. Dementsprechend sind die für die berücksichtigten Studien zugrunde gelegten Systemgrenzen im Einzelfall zu prüfen und hinsichtlich der zu bewertenden Produktkette zu harmonisieren. Für viele Produktketten liegen Erkenntnisse vor, die jedoch zumeist nicht den ganzen Lebenszyklus abbilden. Der Vorteil der hier vorgeschlagenen Methode besteht darin, dass die vorhandenen Studien genutzt werden, um lebenszyklusweite Aussagen treffen zu können. Damit müssen teilweise keine vollständig neuen Lebenszyklusstudien durchgeführt werden, um zu richtungssicheren Aussagen zu gelangen. Dies wird jedoch erkauft mit dem Nachteil heterogener Systemgrenzen. Vor diesem Hintergrund ist der Anspruch der Hot Spot-Analyse das Ableiten richtungssicherer Aussagen, wobei die Ergebnisse in ihrer detaillierten Aussagekraft nicht überschätzt werden sollten. Damit weicht die hier vorgeschlagene Methodik nicht grundlegend von anderen Lebenszyklusanalysen ab, die immer nur einen vereinfachenden Charakter haben und die angesetzten Systemgrenzen bzw. die Datenverfügbarkeit sich auf die Aussagekraft der Erkenntnisse niederschlagen. Man muss sich bewusst sein, dass durch die Verwendung unterschiedlicher Studien diese Fehlerquelle im schlimmsten Fall potenziert, im besten Fall eliminiert wird.

Anhand dieser Aussage lässt sich feststellen, dass ein zunehmender Bedarf für die Forschung entlang von ganzen Produktketten oder Materialflusssystemen besteht, wenn das Ziel einer signifikanten Erhöhung der lebenszyklusweiten Ressourcenproduktivität ernst genommen wird. Dieser Forschungsbedarf sollte aber nicht darin münden, dass diverse weitere Ökobilanzen in allen möglichen Produktketten aufzusetzen sind. Vielmehr besteht der Bedarf in der Entwicklung und Anwendung einer Methodik, die in relativ kurzer Zeit und mit begrenztem Aufwand zu richtungssicheren Aussagen kommt. Die hier vorgestellte Methode leistet einen Beitrag in diese Richtung. Ein Bedarf besteht aber auch sicherlich weiterhin darin, die hier entwickelte und andere vorgeschlagenen Methoden zu verifizieren bzw. zu verfeinern. Wenn darüber hinaus die Erkenntnis gereift ist, dass nicht für alle relevanten Produktfelder entsprechende Daten/Studien in hinreichendem Umfang vorliegen, um diese Methode anwenden zu kön-

nen, dann könnte es sinnvoll sein diese Lücken durch gezielt vergebene Ökobilanzen zu schließen.

Auch wenn es nicht Ziel dieses Projektbausteins war, mögliche Ressourceneinsparpotenziale zu quantifizieren und diese auch nicht unmittelbar aus der Hot Spot-Analyse gewonnen werden können, wurden erste Abschätzungen für die Produkte angestellt und ausgewiesen, wenn dies richtungssicher und aus den zur Verfügung stehenden Daten vertretbar erschien⁵⁷. An dieser Stelle lässt sich ein weiterer Forschungsbedarf ableiten, der in der Weiterentwicklung der Methodik hin zu einer Potenzialabschätzung geht. Hierzu liegen aber noch kaum hinreichend quantifizierbare Daten vor. Zudem ist zu klären, anhand welcher Parameter man die Potenziale überhaupt abschätzen kann (Zuordnung von Sektoren auf Produkte etc.). Wichtige Aspekte, die in diesem Zusammenhang Berücksichtigung finden müssten, sind die Identifizierung der handelnden Akteure, deren Handlungsmotive und Machtkonstellationen (Akteursanalyse). Darüber hinaus gilt es die zum Einsatz kommende Technik sowie mögliche Technologiesprünge (Best Available Technologies, Technologieanalyse), und die gesellschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen (Umfeldanalyse) zu identifizieren.

Diese methodische Lücke ließe sich umso genauer und schneller schließen, je enger sich die Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Akteuren, wie z.B. Forschungs- und Beratungsunternehmen, Wirtschaft und Politik, gestaltet und dies nicht nur auf nationaler, sondern insbesondere auch auf internationaler Ebene. So verwundert es nicht, dass insbesondere für die eher national geprägte Produktkette „Wohngebäude“ belastbare Potenziale zur Steigerung der Ressourcenproduktivität ausgewiesen wurden. Banal mutet daher die Aussage an, dass je internationaler und verzweigter eine Produktkette gestaltet ist, desto schwieriger es ist, erstens diese Potenziale zu bilanzieren und zweitens diese auch zu heben.

Des Weiteren sollte eine Weiterentwicklung des Bewertungsrasters angedacht werden, um unternehmensinterne Relevanzen besser abbilden zu können. So könnte es sich als sinnvoll erweisen, organisationsinterne, sektorale oder NGO-Prioritäten mit abzubilden, da vermutlich diese Kriterien dazu beitragen werden, solche Fokusbereiche zu wählen, denen dann vermutlich auch genügend Aufmerksamkeit geschenkt wird, um diese von Seiten der Wirtschaft zu adressieren. Sollte das Interesse von Seiten der Unternehmen dadurch verstärkt werden, ist davon auszugehen, dass die Ressourceneffizienzpotenziale in diesen Bereichen früher gehoben werden und ggf. absolut auch größer sind, als wenn ein „schlankeres“ Ressourcenraster, wie es zurzeit vorliegt, angewendet wird. Die ökologische Entlastung würde für die Unternehmen im Kanon eines umfassenderen Bewertungsrasters sicherlich einfacher zu akzeptieren und umzusetzen sein, da es näher an der betriebswirtschaftlichen Gedankenwelt unternehmerischer Entscheidungsträger anschließt.

⁵⁷ Zu Ressourceneffizienzpotenzialen siehe auch: Wuppertal Institut 2006; ADL et al. 2005; Bringezu 2004; Liedtke, Busch 2005.

Welcher explizite Forschungsbedarf über diese allgemeinen Anmerkungen hinaus für die ausgewählten Produkte bzw. deren Ketten herausgearbeitet werden konnte, wird in der Folge näher ausgeführt.

5.1 Forschungsbedarf in den ausgewählten Produktketten

5.1.1 Bauen

Im Hinblick auf die Ressourceneinsätze innerhalb des Bedarfsfeldes „Wohnen“ besteht auf verschiedenen Ebenen Forschungsbedarf, der im Folgenden nur stichwortartig ausgeführt werden soll.

- Zur Ressourcenintensität verschiedener Rückbau- und Baustoffentsorgungsprozesse;
- Zur Lebensdauer verschiedener Gruppen von Nichtwohngebäuden (incl. Umnutzungszyklen);
- Zur Ressourcenintensität innovativer Baustoffe und Bauteile sowie von Referenzgebäuden verschiedener Bau- bzw. Konstruktionsweisen;
- Zu den gebundenen Ressourcen im Gebäudebestand;
- Zu Beratungsdienstleistungen, die die Ressourcenproduktivität in diesem Bereich steigern helfen;
- Weiterentwicklung bestehender Gesetze und Verordnungen in Richtung Ressourceneffizienz (z. B. EnEV zur Ressourceneffizienz-Verordnung ReEV weiter entwickeln);
- Marketinginstrumente für ressourceneffiziente Gebäude (Wohn- und Nichtwohngebäude) schaffen, z.B. durch die Einführung und deutsche Adaptierung des US-amerikanischen LEED-Standards (für andere Produkte könnte man ein Label wie das Energie-Label auf der Weißenware vorschlagen).

5.1.2 Ernährung

- Untersuchungen zur Ressourcenrelevanz des Nutzerverhaltens und wie dieses ggf. durch Produktinformation, Packungsdesign und –größe, Werbung und (Aus-) Bildung beeinflusst werden kann. Das Hauptaugenmerk sollte dabei auf der Vermeidung der Entsorgung nicht konsumierter Lebensmittel liegen, da ein Großteil des Ressourcenverbrauchs in der Rohstoff- und Verarbeitungsphase bereits angefallen ist.
- In der Rohstoffphase hat sich insbesondere die Intensivlandwirtschaft als sehr ressourcenintensiv herausgestellt. Eine differenzierte Untersuchung, auch unter Einbeziehung alternativer Bewirtschaftungsformen, ist nötig, um konkretere Handlungsoptionen aufzeigen zu können.

- Eine Potenzialabschätzung, die einen vegetarischen mit einem nicht-vegetarischen Ernährungsstil vergleicht. Ausgehend von dieser Studie könnten sich die daraus resultierenden Potenziale abschätzen lassen.
- Identifizierung von Substitutionsmöglichkeiten tierischer Nahrungsbestandteile.
- Weiterer Forschungsbedarf wird im Hinblick auf den Vergleich regional vs. global produzierter Lebensmittel gesehen. Was ist vorteilhafter?

5.1.3 IKT

Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich in den folgenden Feldern:

- Die Effizienzsteigerungen, die im IKT-Sektor selbst (z.B. gemäß Moore's Law), aber auch durch Anwendung von IKT zur Optimierung von Prozessen, zur Substitution von Produkten durch Informationsdienstleistungen oder von Reisen durch Telekommunikation erzielt werden, führen nicht automatisch zu einer Einsparung von natürlichen Ressourcen. Dies ist unter anderem auf den so genannten Rebound-Effekt zurückzuführen, der bei konstanten Kosten und Zeitbudgets dafür sorgt, dass der Übergang zu effizienteren Techniken eine Ausweitung der Aktivitäten nach sich zieht. Wegen dieses Effekts führen technische Maßnahmen allein nicht zu einem Rückgang der Naturbeanspruchung durch Produktion und Konsum. Es gilt zu untersuchen welche Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, um Anreize zu einem sparsamen Umgang mit Material und Energie zu geben oder den Rebound-Effekt abzuschwächen.
- Die Forschung sollte sich verstärkt der Frage annehmen, wie sich die Lebensdauer von Produkten der IKT (zum Beispiel von Satelliten, Leitungsnetzen, Endgeräten, aber auch Software und Standards) ausweiten lässt, insbesondere durch das Zusammenwirken von konstruktiven, organisatorischen, ökonomischen und politischen Maßnahmen.
- Forschungsbedarf besteht auch betreffend der Effizienz von Maßnahmen zur Beeinflussung des Nutzerverhaltens, wie z.B. dem Ausschalten von Geräten bei Nichtgebrauch.
- Die Forschung sollte sich verstärkt der Frage annehmen, unter welchen Bedingungen die existierenden Dematerialisierungspotenziale umgesetzt werden können; insbesondere welche rechtlichen und fiskalischen Rahmenbedingungen ein günstiges Klima schaffen können, für einen von IKT unterstützten Wechsel von Produkten zu Dienstleistungen (product-to-service shift).
- Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Miniaturisierung (von Mikro- zu Nanotechnologie) und Durchdringung des Alltags mit IKT Produkten und Komponenten (Pervasive Computing) müssten technische und organisatorisch/administrative Verfahren entwickelt werden, die die Kreislaufführung ressourcenintensiver Materialien (z.B. Edelmetalle) gewährleisten.

5.2 Zusammenfassender Forschungsbedarf über alle Produktketten hinweg

Basierend auf den Erkenntnissen aus den drei betrachteten Bedarfsfeldern lässt sich Handlungsbedarf im Bereich der Analyse/Bewertung (A), in der Umsetzung bzw. dem Management (U) sowie im Bereich der Kommunikation (K) ableiten:

- 1) Grundsätzlich zeigt sich die überragende Bedeutung der Rohstoffgewinnungsphase für den lebenszyklusweiten Ressourcenverbrauch. Mit gewissem Abstand folgt die Nutzenphase. Diesen Sachverhalt gilt es zunächst durch vertiefende Studien zu verifizieren und ggf. zu differenzieren (A) und an die relevanten Entscheidungsträger zu kommunizieren (K).
- 2) In die Produktion, der in den jeweiligen Bedarfsfeldern konsumierten Produkte, sind in der Mehrzahl der Fälle eine Vielzahl von Sektoren involviert. Zur Identifizierung der Ressourceneffizienzpotenziale erscheint daher eine sektorübergreifende, lebenszyklusweite Betrachtung auf Produktebene zwingend notwendig. Diese sollten beispielhaft für verschiedene Produkte aus den wichtigsten Bedarfsfeldern durchgeführt (A), und die gewonnen Erkenntnisse zur Diffusion an Entscheidungsträger soweit möglich aggregiert werden (K).
- 3) Richtungssichere Erkenntnisse im Hinblick auf die Hauptressourcenverbräuche entlang des Lebenszyklus von Produkten sind auch mit vereinfachten Verfahren möglich. Entscheidungsträgern in Politik und Wirtschaft sollten daher Erkenntnisse entsprechender Screenings als Entscheidungsgrundlage zur Verfügung gestellt werden (U, K). Die praxisbezogene Relevanz, der aktuell zur Verfügung stehenden Instrumente, sollte evaluiert und ggf. vereinfachte Screeningverfahren entwickelt werden (A).
- 4) Die unterschiedliche Gewichtung der einzelnen Lebenszyklusphasen wirft die Frage nach den jeweils involvierten Akteuren auf. Sowohl Informations- und Kommunikationsflüsse als auch rechtlich-ökonomische Beziehungen und Machtverhältnisse dieser Akteure sollten genauer untersucht werden (A).
- 5) Während für einzelne Produkte z.T. erhebliche Ressourceneffizienzpotenziale realisiert wurden oder werden können, geraten die gesamtgesellschaftlichen Effekte dieser Effizienzsteigerungen allzu oft aus dem Blickfeld. Die Rahmenbedingungen sollten so konzipiert werden, dass die Effizienzsteigerungen nicht durch Rebound- oder Bumerangeffekte auf der Makroebene kompensiert oder gar überkompensiert werden (U).
- 6) Viele Produkte des täglichen Bedarfs sind heute durch einen „globalisierten“ Lebenszyklus gekennzeichnet. Zur Realisierung der vorhandenen Ressourcenproduktivitätssteigerungen ist daher ein internationaler Blickwinkel hilfreich, der an internationale Vereinbarungen, Agenden und Triebkräfte, wie z.B. auf globaler Ebene die Millennium Development Goals, auf Europäischer Ebene die Ressourcenstrategie, die WEEE Richtlinie oder die Ansätze zur Integrierten Produktpolitik anknüpft (U).

- 7) Die Erarbeitung und Durchführung von Informations-, Qualifizierungs- und Weiterbildungsmaßnahmen für Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und Verbänden zu den skizzierten Sachverhalten ist von zentraler Wichtigkeit, um die vorhandenen Potenziale zu realisieren (K).

5.3 Gesamtfazit

Anhand der durchgeführten Hot Spot-Analysen wurde deutlich, dass eine allein stehende Sektorbetrachtung zur Identifikation konkreter Einsparpotenziale nicht ausreicht. Um von der Mikrobetrachtung einzelner Produktbeispiele der Wertschöpfungskette zu gültigen Aussagen für die gesamtdeutsche Ebene zu gelangen, müssen aus den vorhandenen Ausführungsvarianten auf Mikroebene repräsentative Produktbeispiele untersucht und die gewonnenen Ergebnisse anhand statistischer Angaben (ggf. unter Einbezug von Prognosewerten) extrapoliert werden (Bottom-up-Ansatz). Hier besteht jedoch die Gefahr, dass Ungenauigkeiten oder Fehler im Rahmen der Erhebung auf Mikroebene bei Übertragung auf die Makroebene potenziert werden. Erst die Verbindung von statistischen Daten und Detailerhebungen entlang von Wertschöpfungsketten kann deshalb belastbare Quantifizierungen von Einsparpotenzialen als Grundlage für politische Strategie-Entscheidungen liefern.

Die vorliegenden Hot Spot-Analysen zeigen Richtungen möglicher Einsparungen auf und können als Bausteine einer solchen Potenzialanalyse gewertet werden.

6 Literatur

- ADL [Arthur D. Little GmbH] / Wuppertal Institut / ISI [Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung] (2005): Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in Mittelständischen Unternehmen, Abschlussbericht; www.materialeffizienz.de.
- Agirev (2002): http://www.ecommerce-trends.de/0213_02.htm (25.11.2005).
- Atlantic Consulting (1998): LCA Report: EU Ecolable for Personal Computer.
- Barthel, C./ Lechtenböhmer, T. (2000): International Climate Policy & the IT-Sector, Wuppertal Institute, Wuppertal.
- Barthel, C. / Lechtenböhmer, S. / Thomas, S. (2001): GHG Emission - Trends of the Internet in Germany. In: Langrock, T., Ott, H. E. & Takeuchi, T. (Hg.) (2001). Japan & Germany: International Climate Policy & the IT Sector. Wuppertal Spezial 19, Wuppertal Institut.
- Behrendt, S. / Knoll, M. (2005): Nachhaltige Zukunftsmärkte. Wo liegen Potenziale für einen stärkeren Holzabsatz? Arbeitspapier. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung.
- BGW (2005): Womit heizt Deutschland? Beheizungsstruktur im Wohnungsbestand 2004. Presseinformation vom März 2005. In: <http://www.fsg-freital.de/index.php?id=120>; Suche am 05.01.2006
- BMU / BDI (Hg.) (2002): Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen. Konzepte und Instrumente zur nachhaltigen Unternehmensentwicklung. Center for Sustainability Management (CSM), Universität Lüneburg im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. http://www.emsland.de/pdf_files/nachhaltigkeitsstudie.pdf.
- Bringezu, S. (2004): Erdlandung. Navigation zu den Ressourcen der Zukunft. Stuttgart: Hirzel Verlag.
- Bringezu, S. / Behrensmeier, R. et al. (1998): Material Flow accounts indicating environmental pressure from economic sectors. Environmental Accounting in Theory and Practice. Uno, K. and P. Bartelmus, P. Dodrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hg.) (2001): Leitfaden nachhaltiges Bauen. 2. Aufl.
- Busch, A. / Dangelmaier, W. (2002): Integriertes Supply Chain Management – Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse, 1. Aufl., Wiesbaden.
- Canadian Environment Industry Association (CEIA) (2002). In: The Gallon Environment Letter, Vol. 6, No. 31, 19, Dezember 2002.
- Carlsson-Kanyama, A. / Pipping Ekström, M. et al. (2001): Case studies of life cycle energy use for the Swedish food supply: possibilities for more energy efficient diets. International Conference on LCA in Foods, Göteborg.
- Coffee Research Institute (2005): Online. Quelle: <http://www.coffeeresearch.org/>; Suche am 10.05.2005.

- Commission of the European Communities (CEC) (2003): Integrierte Produktpolitik. Auf den ökologischen Lebenszyklus-Ansatz aufbauen. Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament. http://europa.eu.int/eurlex/lex/LexUriServ/site/de/com/2003/com2003_0302de01.pdf.
- Commission for Environmental Cooperation (1999): Measuring consumer interest in Mexican Shade grown coffee: an assessment for the Canadian, Mexican and US markets. Montréal.
- Deutscher Bundestag (Hg.) (1997): Konzept Nachhaltigkeit. Fundamente für die Gesellschaft von morgen. Zwischenbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages.
- Deutscher Kaffeeverband (2005): Kaffeewissen. Online, Quellen: <http://www.kaffeeverband.de/538.htm>, .../546.htm, .../186.htm; Suche am 10. 11. 2005.
- DeStatis 2003a: Bewohnte Wohneinheiten in Wohngebäuden und sonstigen Gebäuden mit Wohnraum nach Belegung und Fläche. In: <http://www.destatis.de/basis/d/bauwo/wositab2.php>; Stand: 13. August 2003.
- DeStatis 2003b: Wohneinheiten in Gebäuden mit Wohnraum und bewohnten Unterkünften in 1000. In: <http://www.destatis.de/basis/d/bauwo/wositab1.php>, Stand 13. August 2003.
- DeStatis 2005: Gebäude und Wohnen – Bautätigkeit und Wohnungen. In: http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de_jb08_jahrtab31.asp, Stand 14. September 2005.
- Diers, A. / Langowski, H.-C. et al. (1999): Produkt-Ökobilanz vakuumverpackter Röstkaffee (Product Life-Cycle Analysis of vacuum packaged coffee), ecomed publishers.
- Dreier, T. / Fischer, F. / Wagner, U. (2000): Ganzheitliche energetische Bilanzierung eines Personal Computers. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 50. Jg., Heft 4, 2000.
- Dutilh, C. E. / Kramer, K. J. (2000): Energy Consumption in the Food Chain. Abmio: a journal of human environment 29(2): 98-101.
- EDE Consulting for coffee (2001): Environmental issues relating to the coffee chain within a context of trade liberalization, through a life cycle approach. London.
- Effiziento (2005): Moderne Heizungen senken Verbrauch und Kosten. In: <http://www.effiziento.de/heizungen.html>; Suche am 02.12.2005.
- Europäische Kommission (2002): Industriepolitik in einem erweiterten Europa. Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen.
- Europäische Kommission (2003): Entwicklung einer thematischen Strategie für die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen. Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament. Brüssel, den 1.10.2003. http://europa.eu.int/eurlex/de/com/cnc/2003/com2003_0572de01.pdf.
- Europäische Kommission (2001): Grünbuch zur Integrierten Produktpolitik. <http://europa.eu.int/eurlex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2001:0068:FIN:DE:PDF>.
- Europäische Union – Kommission der Europäischen Gemeinschaft. (2002). Bericht der Europäischen Kommission KOM(2002) 122 endgültig. Umwelttechnologie für eine nachhaltige Entwicklung.

- Federico, A. / Musmeci, F / Mancini, D.P. (2001): Material Input per Unit Service (MIPS) of the Italian Mobile Telephone Network. In: Margni, M., Jolliet, O.; 13th Discussion Forum on Life Cycle Assessment. Environmental Impact of Telecommunication System and Services. Swiss Federal Institute of Technology; Lausanne, 25. 04.2001.
- Frankfurter Rundschau (2001): Beim Computer-Müll hört der Service auf. FR, 22.08.2001.
- Fraunhofer Institut ISI / DIW / GfK / IEU / TUM (Hg.) (2004): Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, GfK Marketing Services, GfK Panel Services Consumer Research, Institut für Energetik und Umwelt, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik an der Technischen Universität München, Projektnr. 17/02. In: <http://www.bmwi.de/Redaktion/Inhalte/Pdf/E/energieverbrauchsstudie-hauptbericht,property=pdf,bereich=,sprache=de,rwb=true.pdf>.
- Future e.V. / Effizienz-Agentur NRW / Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (Hg.) (2005): Materialeffizienz als Erfolgsfaktor. factorY. Magazin für nachhaltiges Wirtschaften. 03/2005, S. 6-7.
- Geibler, J.v. / Ritthoff, M. / Kuhndt, M. (2003): The environmental impacts of mobile computing: a case study with HP. Quelle: <http://www.digital-eu.org/publications/default.asp?pubid=43>, Suche am 02.11.2005.
- GEO3 (2002): Synthesis Global Environmental Outlook: <http://www.unep.org/geo/geo3/>, Suche am 25.11.2005.
- Gühring, H. (2003): Globale Märkte – Neue Herausforderungen an das Supply Chain Management. Vortrag Wirtschaftskammer Österreich. In: http://www.agiplan.de/haupt/veroeffentlichungen/04_04_globale_maerkte.htm, Suche am 02.12.2005.
- Halls, S. 2003: The building and construction sector: cornerstone of sustainability. 3-4. In: UNEP (Hg.) (2003): Sustainable building. Industry and environment, Volume 26, No. 2-3, April-September 2003.
- Herbst, B. (2000): Mehrfamilienhäuser nach dem MIPS-Konzept unter Berücksichtigung ökonomischer Aspekte. Diplomarbeit an der bergischen Universität Wuppertal. FB10 Bau-
management.
- Hochtief (Hrsg.) 2005: Nachhaltigkeitsbericht 2005. Lebensräume Gestalten. Aus Visionen Werte schaffen. Bacht Grafische Betriebe und Verlag GmbH: Essen.
- Høgaas Eide, M. (2002): Life Cycle Assessment (LCA) of Industrial Milk Production. International Journal of Life Cycle Assessment 7(2): 115-126. [http://appli1.oecd.org/olis/2001doc.nsf/43bb6130e5e86e5fc12569fa005d004c/355a756ca-be1a5ccc1256bdb00581d53/\\$FILE/JT00128448.PDF](http://appli1.oecd.org/olis/2001doc.nsf/43bb6130e5e86e5fc12569fa005d004c/355a756ca-be1a5ccc1256bdb00581d53/$FILE/JT00128448.PDF)
- Hwang, A. (2002): Semiconductors Have Hidden Costs. In: Vital Signs 2002-2003, Earthscan, S. 110.
- Institute for Prospective Technological Studies (ipts) / European Science and Technology Observatory (2005): Environmental Impacts of Products (EIPRO). Analysis of the life cycle environmental impacts related to the total final consumption of the EU25. In: <http://cleantech.jrc.es/pages/r4.htm> (14.11. 2005).
- Institut für Wohnen und Umwelt (IWU) (2005): Zur Wirtschaftlichkeit des Niedrigenergiestandards, <http://www.iwu.de>.

- Jörissen, J. / Coenen, R. / Stelzer, V. (2005): Zukunftsfähiges Wohnen und Bauen. Herausforderungen, Defizite, Strategien. Edition sigma, Berlin.
- Kemper, B.M. (2003): Von der Getrenntfassung zur industriellen Wertstoffgewinnung – technische Innovationen und unternehmerische Planung. Vortrag beim 3. Orientierungstag „Jenseits der VerpackV – ein Neuanfang in der Verpackungspolitik“ der AGVU am 21. Nov. 2003, Berlin.
- Koomey, J. G. (2000): Rebuttal to Testimony on ‘Kyoto and the Internet: The Energy Implications of the Digital Economy’. Berkeley, CA, USA: Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-46509. Online. Quelle: <http://enduse.lbl.gov/Projects/InfoTech.html>, Stand: 2 August 2001.
- Kristof, K. / Bleischwitz, R. / Liedtke, C. / Türk, V. / Bringezu, S. / Ritthoff, M. / Schweinfurth, Arne (2006): Ressourceneffizienz - eine Herausforderung für Politik und Wirtschaft, Hintergrundpapier des Wuppertal Institutes zur Tagung des Bundesumweltministeriums und der IG Metall "Ressourceneffizienz - Innovationen für Umwelt und Arbeitsplätze", 31.08.2006, Berlin.
- Kuhndt, M. / Geibler, J.v. / Türk, V. / Moll, S. / Schallaböck, K.O. / Steger, S. (2003). Digital Europe: Virtual dematerialisation: ebusiness and factor X. Report to the European Community. Wuppertal Institute.
- Lamers, P. (2005): Potenzial zur Erhöhung des betrieblichen Nachhaltigkeitsbeitrags durch die Adressierung von Nachhaltigkeitsaspekten in Zulieferketten mittels Nachhaltigkeitsberichterstattung am Beispiel der Bekleidungsindustrie. Diplomarbeit. Universität Karlsruhe.
- LBS Research (2005): Wohnfläche wächst bis 2030 stetig weiter. In: Buman, M. G.: <http://www.dimagb.de/info/bauneu/trends1.html#wfl>; Suche am 05.01.2006.
- Liedtke, C. / Busch, T. (Hg.) (2005): Materialeffizienz – Potenziale bewerten, Innovationen fördern, Beschäftigung sichern. München: Oekom.
- Lindsey-Wolcott, E. (1999): Promoting the responsible production of coffee in Latin America, Wild Forests Forever.
- Malik, P. (1998): Materialintensitätsanalyse von Milch, Rindfleisch und Schweinefleisch. Praktikumsbericht. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH; unveröffentlicht.
- Massari, S. (2002): Current food consumption patterns and global sustainability, UNEP - Sustainable Agri-Food Production and Consumption Forum.
- Mauch, W. (1993): Kumulierter Energieaufwand für Güter und Dienstleistungen – Basis für Ökobilanzen. IFE Schriftenreihe Heft 26. München.
- Mersiowsky, I. (2005): Ganzheitliche Effizienzbetrachtungen - Herausforderungen und Chancen am Beispiel Chemie und Kunststoffe. In: Liedtke, C.; Busch, T. (Hg.) (2005): Materialeffizienz. Potenziale bewerten, Innovationen fördern, Beschäftigung sichern. München: Oekom. S. 111-122.
- Moller, H. / Vold, M. et al. (1996): Life cycle assessment of pork and lamb meat. International conference on application of Life Cycle Assessment in agriculture, food and non-food agroindustry and forestry. Brussels, Belgium.
- National Safety Council (1999): Electronic product recovery and recycling baseline report. Washington D.C.
- OECD (2002): Household Energy & Water Consumption and Waste Generation.

- OECD (2001): Household Food Consumption, Trends, Environmental Impacts and Policy Responses: http://www.oecd.org/document/52/0,2340,en_2649_34331_35145204_1_1_1_1,00.html, Suche am 25.11.2005
- OECD (Hg.)(2001): Environmental Strategy for the First Decade of the 21st Century. <http://www.oecd.org/dataoecd/33/40/1863539.pdf>
- Otto, T. (2001): Umweltrelevanz von Telekommunikationsdiensten und Internet. Präsentation von Tim Otto (Deutsche Telekom) auf dem Workshop "Das Internet und seine Bedeutung für Umwelt- und Klimaschutz", Darmstadt, 7. Juni 2001.
- Pagan, R. and Lake, M. (1999): A whole of life approach to sustainable food production. In: Industry and environment, 22, (2-3), S. 13-17.
- Passivhaus Institut (2005): Protokollband Nr. 11: Kostengünstige Passivhäuser. <http://www.passivhaus-institut.de>.
- Ritthoff, M. / Merten, T. / Wallbaum, H / Liedtke, C. (2004): Stahl im Vergleich - Verfahren, Ressourceneffizienz, Recycling, Umwelt. In: Stahl und Eisen, Nr. 7, 2004.
- Ritthoff, M. / Rohn, H. / Liedtke, C. / Merten, T. (2002): MIPS berechnen - eine Einführung in die Berechnung von MI-Werten. In: <http://www.wupperinst.org/Projekte/mipsonline/index.html>
- Rice, P. D. / McLean, J. (1999): Sustainable coffee at crossroads, The Consumer's Choice Council.
- Roth, K. W. / Goldstein, F. / Kleinman, J. (2002): Energy Consumption by Office and Telecommunication Equipment in Commercial Buildings. Arthur D. Little Inc., Cambridge (MA), USA.
- Schaltegger, S. / Herzig, C. et al. (2002): Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen: Konzepte und Instrumente zur nachhaltigen Unternehmensentwicklung. In: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und Bundesverband der deutschen Industrie (BDI) (Hg.), Bonn.
- Schischke, K. / Kohlmeyer, R. (n.d.) in Meyer, A. (2003): Ökologisches Rechenspiel. In: c't 2003, Heft 21, S. 153.
- Schmidt-Bleek, F. (2000): Das MIPS-Konzept. Weniger Naturverbrauch – mehr Lebensqualität durch Faktor 10. Unter Mitarbeit von Willy Bierter. München: Knaur.
- Schmidt-Bleek, F. et al. (1998): MAIA, Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser.
- Schwemin, A. (2001): Stichwort "Produktkettenmanagement". In: Diller, H. (Hg.) (2001): Vah-lens Großes Marketing Lexikon. 2. Aufl. München: Vahlen, 1404.
- Seiler-Hausmann, J.-D. / Liedtke, C. / von Weizsäcker, E. U. (2004): Eco-efficiency and Beyond. Towards the Sustainable Enterprise. Sheffield: Greenleaf.
- Serpa, J. E. (1999). The impact of environmental measures on coffee production costs in Latin America. In: UNEP Industry and environment: Sustainability and the agri-food industry, 22, No.2-3, S. 32-34.
- Seuring, S. (2004): Industrial ecology, life cycles, supply chains: Differences and Interrelations. In: Business Strategy and the Environment, Vol. 13, S. 306-319.
- Sevenskmjöl (Swedish Dairy Association) (n.d.): Milk and the Environment, Swedish Dairy Association: 16.

- Spangenberg, J. H. / Femia, H. et al. (1999): Material Flow-based Indicators in Environmental Accounting. Copenhagen, European Environmental Agency.
- Statistisches Bundesamt (2002): Pressemitteilung: <http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm2002/p2090024.htm>, Suche am 25.11.2005.
- Talve, S. (2001): Life Cycle Assessment of a Basic Lager Beer. In: International Journal of Life Cycle Assessment 6(5), S. 293-298.
- Türk, V. / Alakeson, V. / Kuhndt, M. / Ritthoff, M. (2003a): Environmental and social impacts of digital music. Quelle: <http://www.digital-eu.org/publications/default.asp?pubid=46>, Suche am 02.11.2005.
- Türk, V. / Ritthoff, M. / Geibler, J.v. / Kuhndt, M. (2003b): Internet: virtuell = umweltfreundlich? [Internet: virtual = environmentally sound?] In: Altner, G.; Mettler-von Meibom, B.; Simonis, U. & Weizsäcker, E. U. von (Hg.): Jahrbuch Ökologie 2003. 2002, Beck München, S. 110-123.
- Türk, V. (2001): Assessing the Resource Intensity of the Internet Infrastructure: Data Analysis for a Material-Flow Oriented Approach and First Results on Electricity Consumption. M. Sc. thesis at the Lund University, Sweden. Online. Quelle: <http://www.iiee.lu.se/information/publications/index.html>.
- Umweltgutachterausschuss (Hg.) (2005): Stellungnahme des Umweltgutachterausschusses zur Frage der 63. UMK zu einem "zukunftsfähigen EMAS" in Deutschland. Beschluss der 37. Plenumssitzung am 29. September 2005 in Berlin. http://www.umweltgutachterausschuss.de/downloads/ZukunftEMAS_Stellungnahme.pdf.
- UNEP (2002): <http://www.ueptie.org/pc/agri-food/Issues.htm>.
- United States Environmental Protection Agency/Office of Air Quality Planning & Standards (1995): Compilation of Air pollutant Emission Factors. Vol 1 - Stationary point and area sources. Chapter 9 - Food and agricultural industries.
- United States Geological Survey (2001): Obsolete Computers, "Gold Mine", or High-Tech Trash? USGS Fact Sheet FS-060-01, Juli 2001.
- Universität Gesamthochschule Kassel (Hg.) (1998): Ökobilanzierung von Wohngebäuden nach dem MIPS-Konzept des Wuppertal Instituts. Projekt-Bericht. Sager, C.; Wangelin, M.; Fachbereich 12. Architektur; Fachbereich 13 Stadt- und Landschaftsplanung. Kassel.
- Uno, K. / Bartelmus, P. (Eds.) (1998): Environmental Accounting in Theory and Practice. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- K. Voss / Löhnert; G. / Herkel; S. / Wagner, A. / Wambsganß; M. (2006): Bürogebäude mit Zukunft. Konzepte, Analysen, Erfahrungen. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Büro Bonn, 2. überarbeitete Auflage 2006, ISBN 3-934595-59-6.
- Wallbaum, H. / Kaiser, C. (2005): Wirtschaftlichkeit, Qualität und Ressourcenschutz in der Bauwirtschaft durch ganzheitliches Planen. S. 161-173. In: Liedtke, C. / Busch, T. (2005): Materialeffizienz. Potenziale bewerten, Innovationen fördern, Beschäftigung sichern. München: Oekom.
- Wallbaum, H. (2002): Denk- und Kommunikationsansätze zur Bewertung des nachhaltigen Bauens und Wohnens. Ein Beitrag zur Erfassung des gegenwärtigen Standes der Diskussion und zur Anwendbarkeit auf ein konkretes Beispiel. Dissertation.

- Williams, E.D. / Ayres, R.U. / Heller, M. (n.d.) (2002): The 1,7 Kilogram Microchip: Energy and Material Use in the Production of Semiconductor Devices. In: Environmental Science & Technology, 36 (24), S. 504-5510.
- Wirtschaftsvereinigung Stahl; Stahlinstitut VDEh (Hg.) (2005): Energiewirtschaft. Entwicklung der Energieeffizienz und der Struktur des Energieträgereinsatzes für die Stahlerzeugung in Deutschland. In: http://www.stahlonline.de/forschung_und_technik/energieund_umwelt/technik/energiewirtschaft.htm, Suche am 09.12.2005.
- Wolters, T. (2001): Towards Sustainability Indicators for Product Chains. Workshop of the Environmental Management Accounting Network (EMAN).
- World Resources Institute / United Nations Development Programme et al. (1998): World Resources 1998-99. A guide to the global environment., Oxford University Press.
- Wuppertal Institut / ADL [Arthur D. Little GmbH] (2005): Studie zur Konzeption eines Programm für die Steigerung der Materialeffizienz in KMU, Abschlussbericht Anhang B: Programmlandkarte – Analyseraster, Case Studies / Akteurs-/Strukturlandkarte: Förderlandschaft; www.materialeffizienz.de.
- Wuppertal Institut (2004): Jahrbuch 2003/2004. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen. Offset Company: Wuppertal.
- Wuppertal Institut (2003): MIPSOnline. Quelle: http://www.wupperinst.org/Projekte/mipsonline/download/MIT_v2.pdf
- Wuppertal Institut (Hg.) (2002): Review of Eco-Efficiency Concepts in Europe. Towards an Application of European-Based Policies on Material Flows and Energy to Japanese Sustainable Development Policies. Final Report.
- Wuppertal Institut (Hg.) (2000): Das Ziel verfehlt? Ein Vergleich von Niedrigenergiehäusern (NEH) und Passivhäusern (PH) nach dem MIPS-Konzept unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte. In: EB Energie Effizientes Bauen. 2/(1)/2000, S. 4-9.
- Wuppertal Institut (Hg.) (1999): Die Sanierung des Wohngebäudebestandes – Eine Chance für Klimaschutz und Arbeitsmarkt? Endbericht im Auftrag der IG Bauen-Agrar-Umwelt und Greenpeace e.V., Wuppertal, Juli 1999.

7 Anhang

7.1 Zur Klärung der verwendeten Begrifflichkeiten

Zur Beschreibung des Produktkettenmanagements ist zunächst die begriffliche Abgrenzung zwischen Produktkette, Wertschöpfungskette, Zulieferkette und anderen verwandten Begriffen notwendig.

Im Hinblick auf die Terminologie ist festzustellen, dass in der Literatur keine einheitliche Definition der Begriffe Wertschöpfungskette (Value Chain), Zulieferkette (Supply Chain), Demand Chain usw. zu finden ist und die Begriffe z.T. synonym bzw. überlappend verwendet werden.

Unter der **Wertschöpfungskette** eines Produktes wird an dieser Stelle zunächst der gesamte Herstellungsprozess verstanden, von der Gewinnung des Rohmaterials, über die Verarbeitung bis hin zur Lieferung des Produktes an den Endkunden. Darüber hinaus beinhaltet die Wertschöpfungskette alle mit dem Produkt verbundenen Serviceleistungen sowie die Weiterverwertung, das Recycling bzw. die Entsorgung des gebrauchten Produktes. Somit wird die Wertschöpfungskette stark an den von Porter (1998) verwendeten Begriff der „Value Chain“ angelehnt und um den Prozess der Weiterverwertung, das Recycling und die Entsorgung erweitert. Die produktbezogene Betrachtungsebene der physischen und informatorischen Flüsse wird zudem um organisatorische Aspekte, insbesondere die Beziehungen zwischen den involvierten Akteuren, ergänzt.

Die **Zulieferkette** beschreibt hier dahingegen nur den Teil der Wertschöpfungskette bzw. des Wertschöpfungsprozesses, der dem betrachteten Unternehmen vorgelagert ist, den so genannten „up-stream“ Teil. Somit ist die Zulieferkette abhängig von der Position des betrachteten Unternehmens innerhalb der Wertschöpfungskette.

Um der besonderen Fokussierung auf die Ressourcenproduktivität dieses Projektes gerecht zu werden, wird im Folgenden von der **Produktkette bzw. dem Produktkettenmanagement** gesprochen.

Darunter wird der gesamte Lebenszyklus des Produktes im Sinne der Wertschöpfungskette verstanden. Im Gegensatz zum Begriff der Wertschöpfungskette fokussiert der Begriff der Produktkette hier aber ausschließlich die physischen Flüsse und schließt somit informatorische Flüsse, Beziehungen der involvierten Akteure usw. aus.

In Anbetracht der in der Literatur vorgefundenen uneinheitlichen Definitionen für die Wertschöpfungs-, Zuliefer- bzw. Produktkette ist es nicht verwunderlich, dass es zu ähnlichen Ergebnissen im Hinblick auf die Begriffe Wertschöpfungskettenmanagement, Zulieferkettenmanagement usw. kommt.

Als wichtige Theoriekonzepte gelten in diesem Zusammenhang die **Industrieökologie**, das **Life-Cycle-Management**, das **Stoffstrommanagement** (Integrated Chain Mana-

gement) und das **Supply Chain Management**. Diese Konzepte beschreiben die Material- und Informationsflüsse entlang von Lebenszyklen und Wertschöpfungsketten und beziehen sich dabei auf interorganisationale Managementaspekte. Als Unterschied zwischen dem Stoffstrommanagement und dem Life Cycle Assessment wird die Erweiterung der alleinigen Betrachtung der direkten Materialflüsse in der Wertschöpfungskette auf die zusätzliche Einbeziehung der Interrelation mit der Gesellschaft gesehen. Als großes Defizit beschreibt Seuring (2004, S. 315) die fehlende Hilfestellung inwiefern diese Konzepte von allen involvierten Akteuren angewandt werden können. Hierzu ist es wichtig, genauere Einsicht über die Zusammenarbeit von Unternehmen innerhalb von Wertschöpfungsketten bei der Reduzierung von Umwelteinflüssen zu erhalten.

International am geläufigsten, im Zusammenhang mit der Gestaltung der Wertschöpfungskette, ist der Begriff **Supply Chain Management (SCM)**. Auch für diesen liegt kein einheitliches Verständnis vor.

Als einer der Ursprünge dieses relativ jungen Managementkonzeptes kann der Beitrag von Oliver / Webber zu Beginn der 1980er Jahre gelten. Bechtel / Jayaram (1997) identifizieren vier generische Denkschulen, die das zurzeit dominierende Verständnis zur Charakterisierung von SCM darstellen. Zu diesen gehört die Functional Chain Awareness School, die Linkage / Logistics School, die Information School und die Integration School. Für ein umfassendes Verständnis des Supply Chain Management-Konzeptes ist eine Berücksichtigung aller genannten Schulen erforderlich.

In der offiziellen Definition des Council of Logistics Management wird die Kooperationsperspektive und die Verbesserung der Performance betont. SCM wird dort beschrieben als „the systematic, strategic coordination of the traditional business functions and the tactics across these business functions within a particular company and across businesses within the supply chain for the purpose of improving the long-term performance of the individual companies and the supply chain as a whole.“

Handfield / Nichols (1999) betonen vor allem die Bedeutung der Material- und Informationsflüsse innerhalb der Wertschöpfungskette, sowie die Generierung langfristiger Wettbewerbsvorteile: „The supply chain encompasses all activities associated with the flow and transformation of goods from raw material stage (extraction), through to the end user, as well as the associated information flows. Material and information flow both up and down the supply chain. Supply chain management (SCM) is the integration of these activities through improved supply chain relationships, to achieve a sustainable competitive advantage.“

7.2 Planungsgrundsätze für nachhaltiges Bauen

Abb. 10: Planungsgrundsätze für nachhaltiges Bauen (BMVBW, 2001)

1) Bedarfshinterfragung Neubau:

Ist ein Neubau erforderlich oder kann auf Bestand zurückgegriffen werden?

2) Optimierung des Raumprogramms:

Entspricht das Raumprogramm dem tatsächlichen Bedarf?

3) Grundstücksbezogene Auswirkungen:

Unterstützt das Grundstück die Ansprüche an Ökologie (Eingriff/Ausgleich/
Verkehrsströme/Flächenrecycling/Bauen auf kontaminierten Flächen)

4) Gebäudeentwurf optimieren

Dauerhaftigkeit der Gebäude, Möglichkeit zur Mehrfachnutzung/-umnutzung

5) Dauerhaftigkeit von Baustoffen und Bauteilen

6) Optimierung der Bauteilgeometrien:

Erhöhung von Nutzwert und sozialer Transparenz, größere Verwendungsbreite, einfachere Wartung/Inspektion.

8) Vermeiden von schwer trennbaren Verbundbaustoffen und -teilen

9) Geringe Schadstoffbelastung der Baustoffe/-teile:

Leichtere Weiter- und Wiederverwendung bzw. Entsorgung.

10) Kontrollierter Rückbau bei Wegfall jeglicher Nutzungsmöglichkeiten

Trennung von Stofffraktionen und weitestgehende hochwertige Weiter- und Wiederverwendung.